

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Química

**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO  
EN LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE  
FERMENTADOS DE GRANO**



**VOLUMEN I**

**Memoria y Anexos**

**Autor:** Párraga Ferrer, Alex  
**Director:** Jiménez Piqué, Emilio  
**Convocatoria:** Mayo 2019

## Resum

A l'associació UPC BCN AIChE Student Chapter hi existeix un projecte de producció de cervesa artesana anomenat Aichemia. L'associació compta amb una planta pilot amb una capacitat de producció de 50 litres de producte final.

Des de l'associació s'entén aquest projecte com a una font de coneixement pels estudiants. L'expressió d'aquesta premissa és que hi ha un interès dels estudiants per a comprendre com funciona el procés productiu de la cervesa, a banda de voler aprendre a gestionar un projecte col·laboratiu.

En aquest treball final de grau s'ha volgut plantejar com és el procés productiu i aconseguir comprovar com afecten certs paràmetres del mateix en les propietats organolèptiques del producte final.

En concret, s'ha experimentat amb canvis a la temperatura de maceració, el tipus d'addició de llúpul i el perfil mineral de l'aigua de procés. S'han realitzat múltiples produccions per a cada paràmetre per a posteriorment ser analitzats.

Les tècniques d'anàlisi emprades al projecte han estat espectrofotometria IR-Vis, mesura del grau alcohòlic, mesura de pH, cata i cultiu microbiològic a diferents punts del procés.

Les dades obtingudes indiquen que hi ha una clara interacció entre els paràmetres de temperatura de maceració i mètode d'addició de llúpul amb les propietats organolèptiques del producte final. En quant al paràmetre de perfil mineral de l'aigua, no s'han obtingut evidències significatives sobre una interacció d'aquest paràmetre amb les propietats del producte final.

## Resumen

En la asociación UPC BCN AIChE Student Chapter existe un proyecto de producción de cerveza artesana llamado Aichemia. La asociación cuenta con una planta piloto con una capacidad de producción de 50 litros de producto final.

Desde la asociación se entiende este proyecto como una fuente de conocimiento para los estudiantes. La expresión de esta premisa es que hay un interés de los estudiantes en comprender como funciona el proceso productivo, aparte de querer aprender cómo gestionar un proyecto colaborativo.

En este trabajo de final de grado se ha querido plantear cómo se desarrolla el proceso productivo y conseguir comprobar cómo afectan ciertos parámetros en las propiedades organolépticas del producto final.

En concreto se ha experimentado con cambios en la temperatura de maceración, el método de adición de lúpulo y el perfil mineral del agua de proceso. Se han realizado múltiples producciones para cada parámetro para posteriormente ser analizados.

Las técnicas de análisis empleadas en el proyecto han sido espectrofotometría IR-Vis, medida del grado alcohólico, medida de pH y cultivo microbiológico en diferentes puntos del proceso.

Los datos obtenidos indican que hay una clara interacción entre los parámetros de temperatura de macerado y método de adición de lúpulo con las propiedades organolépticas del producto final. En cuanto al perfil mineral del agua, no se han obtenido evidencias significativas sobre una interacción de este parámetro con las propiedades del producto final.

## **Abstract**

In the UPC BCN AIChE Student Chapter association there is a brewing Project named Aichemia. The association has a 50 liter capacity of final product brewing pilot plant

The association understands this Project as a source of knowledge for students. There is an interest among them to learn how the brewing process works, as well as there is the Will to learn how to manage a collaborative project.

In this end of degree project there has been an intention to deeply understand how the brewing process is developed and determine how certain process parameters can affect the organoleptical properties of the final product.

Specifically, experimentation about the parameters mash temperature, hop addition method and water mineral profile has been developed. Multiple productions have been carried out for each parameter for its future analysis.

The analytical methods used have been IR-Vis spectrophotometry, alcohol content determination, pH measurement and microbiological culture in different points of the process.

The obtain data shows a clear interaction between the parameters of mash temperature and hopping method with the organoleptical properties of the final product. On the other hand, the results haven't shown significative evidence for the interaction between the water profile and the organoleptical properties of the final product.

## Agradecimientos

Hace ya tres años que soy miembro de la asociación UPC BCN AIChE Student Chapter. Desde el principio he estado en el proyecto Aichemia, aunque también pasé un tiempo como vicepresidente de la asociación.

Esta asociación ha complementado más de lo que esperaba mi experiencia universitaria, dándome la posibilidad de aprender qué es la gestión de proyectos, el trabajo en equipo y la dedicación necesaria para llevar a cabo un proyecto de ingeniería. Estos son valores que, de manera transversal, complementa a los que he recibido en las clases.

Quiero agradecer a la asociación permitirme llevar a cabo este trabajo de final de grado en el marco del proyecto Aichemia, siendo este hecho aprobado en asamblea.

Quisiera agradecer la ayuda que ha brindado el equipo de Aichemia para llevar adelante una planta que en algunos momentos cuya materialización pudo parecer más lejana de lo que realmente estaba.

No sé qué hubiese hecho sin la ayuda de quienes creo que han sido los mejores líderes de Aichemia, ya que han sabido hacer crecer exponencialmente la implicación del proyecto en la vida universitaria, Óscar y Tània, que han mostrado gran paciencia conmigo y su disposición a ayudar en todo momento.

Más en concreto, le doy gracias a Carla no solo por haberme ayudado con la memoria en un punto que creía muerto, sino por haberme hecho querer desarrollar mi trabajo sobre este proyecto, sin ella no me lo hubiese planteado.

También quiero agradecer a Emilio su forma de darme fuerzas para seguir escribiendo este proyecto.

Especial mención a mi madre, Neus. Es profesora de virología en la UAB. Sin ella, no hubiese podido presentar el apartado de control microbiológico, y habría pasado muchas cosas por alto.

Para finalizar, agradezco a mis compañeros de grado y a mi familia (básicamente a todas las personas de mis círculos cercanos), que han sabido ver cuándo no avanzaba y han decidido darme un empujón.

# Índice

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>1</b>
1.1. Origen del trabajo.....	1
1.2. Motivación .....	1
1.3. Requerimientos previos.....	2
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
2.1. Alcance del proyecto .....	4
2.2. Análisis del entorno .....	4
2.2.1. Historia de la cerveza .....	4
2.2.2. Análisis del entorno económico .....	5
2.3. Materias primas.....	6
2.3.1. Agua .....	6
2.3.2. Malta.....	8
2.3.3. Lúpulo.....	10
2.3.4. Levadura .....	11
2.4. Proceso de producción .....	12
2.4.1. Preparación de las materias primas .....	12
2.4.2. Maceración.....	13
2.4.3. Recirculación y regado .....	14
2.4.4. Adición de lúpulo .....	15
2.4.5. Refrigeración .....	16
2.4.6. Fermentación alcohólica.....	16
2.5. Equipos empleados en el proyecto .....	17
2.5.1. Planta piloto.....	17
2.5.2. Equipo experimental.....	18
2.6. Gantt de proceso.....	19
2.7. Técnicas de recogida de datos .....	20
2.7.1. Métodos analíticos.....	20
2.7.2. Métodos sensoriales.....	23
2.7.3. Control de calidad.....	23
2.8. Objetivos del proyecto .....	23

<b>3. EXPERIMENTACIÓN</b>	<b>24</b>
3.1. Identificación de variables .....	24
3.2. Condiciones experimentales .....	25
3.2.1. Experimento 1 .....	25
3.2.2. Experimento 2 .....	26
3.2.3. Experimento 3 .....	27
3.2.4. Experimento 4 .....	27
3.3. Determinación de propiedades .....	28
3.3.1. Determinación del grado alcohólico.....	28
3.3.2. Determinación del amargor .....	29
3.3.3. Cata.....	29
3.3.4. Control de calidad.....	30
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>34</b>
4.1. Graduación alcohólica.....	34
4.2. Determinación del amargor .....	36
4.3. Cata.....	36
4.4. Control de calidad .....	41
4.4.1. Medida de pH .....	41
4.4.2. Control microbiológico .....	42
4.4.3. Color.....	46
<b>5. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>48</b>
<b>6. TRABAJO FUTURO</b>	<b>49</b>
<b>PRESUPUESTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	<b>50</b>
Coste del equipo de producción experimental.....	50
Coste de la materia prima .....	50
Coste de personal.....	51
Resumen de costes .....	51
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO I. RECETAS EMPLEADAS</b>	<b>54</b>

# 1. Prefacio

## 1.1. Origen del trabajo

Casi desde la fundación de la asociación de ingeniería química UPC AIChE BCN Student Chapter, que se encuentra en el campus de la EEBE, ha existido un proyecto transversal sobre la cerveza artesana, Aichemia. El proyecto consiste en desarrollar una planta de producción de cerveza artesana operativa, e ir mejorando tanto su funcionamiento como todos los aspectos relacionados con ella.

En sus orígenes, el proyecto se basaba en la producción de pequeños lotes, usando un equipo casero prestado por Emilio Jiménez, tutor del presente trabajo.

El proyecto se ha convertido en un ente que se asemeja a una microcervecería convencional, salvo que, al ubicarse en el marco de una asociación estudiantil sin ánimo de lucro, se elimina del desarrollo del proyecto la parte lucrativa. Así, se puede decir que Aichemia tiene un enfoque básicamente académico.

Los estudiantes de grado nos dedicamos a la producción, la organización de la producción, control de materias primas y stock, ventas, mejora de instalaciones y formulación de recetas. Es una forma de conseguir experiencia en gestión de proyectos durante la etapa universitaria.

El año anterior se llevó a cabo el primer trabajo de final de grado sobre este proyecto, por Carla Ramos, sobre el diseño y construcción de la primera planta piloto creada desde cero en la asociación. A día de hoy éste es el equipo que se utiliza.

## 1.2. Motivación

Desde que entré en el proyecto Aichemia, el proceso de producción de cerveza ha despertado en mí un gran interés. Es muy sencillo de usar y a la vez muy complicado de entender. Cualquier persona puede aprender cómo hacer cerveza, pero sólo alguien realmente interesado empleará su tiempo en tratar de comprender no sólo el qué sino el porqué de cada paso, y cómo cambios en el proceso afectan a su cerveza.

Siempre me ha parecido muy interesante la ingeniería de procesos. Creo que no podría haber profundizado en un proceso tanto como lo he podido hacer con éste.



He dedicado a este proyecto la mayor parte de las horas libres que he tenido en mi etapa universitaria en la EEBE. Por ello, he decidido que parte del tiempo que le iba a dedicar igualmente lo dedicaría a la realización de mi trabajo final de grado.

### 1.3. Requerimientos previos

Para realizar este proyecto se requieren ciertos conocimientos, que se han ido ampliando durante su desarrollo:

- **Conocimiento del proceso de producción:** Este es un requisito indispensable. Para realizar este proyecto es necesario estar familiarizado en el proceso de producción de cerveza, y, sobre todo, estar interesado en saber más del mismo.
- **Conocimientos de química orgánica básica:** Para comprender ciertos pasos del proceso, como pueden ser la maceración o la fermentación, hay que ser capaz de comprender qué es una reacción química orgánica y saber comprender una cuando se lee.
- **Capacidad de análisis de datos y variables:** En el estudio del mencionado proyecto intervienen numerosas variables. Es necesario, pues, ser capaz de identificarlas y elegir cuáles son las que van a ser dependientes y cuáles independientes. También es necesario ser capaz de analizar de forma crítica los resultados de los análisis tanto químicos como organolépticos.

## 2. Introducción

La cerveza tiene diversas posibles definiciones. Una de ellas es que se trata de un producto químico, fruto de la interacción de diversas materias primas mediante reacciones químicas hasta llegar al producto final.

La cerveza es una bebida carbonatada hecha a partir de cereales (mayoritariamente se utiliza malta de cebada en su elaboración, aunque se puede usar trigo, arroz, o diferentes cereales para su elaboración) agua, lúpulo y levadura. En resumen, mediante una infusión de agua caliente y el grano se extraen los azúcares de éste, que son convertidos por acción de las levaduras en alcohol y CO<sub>2</sub>. El papel del lúpulo en la cerveza es aportar el aroma y el amargor característicos de este producto y controlar el crecimiento de microorganismos contaminantes durante el proceso.

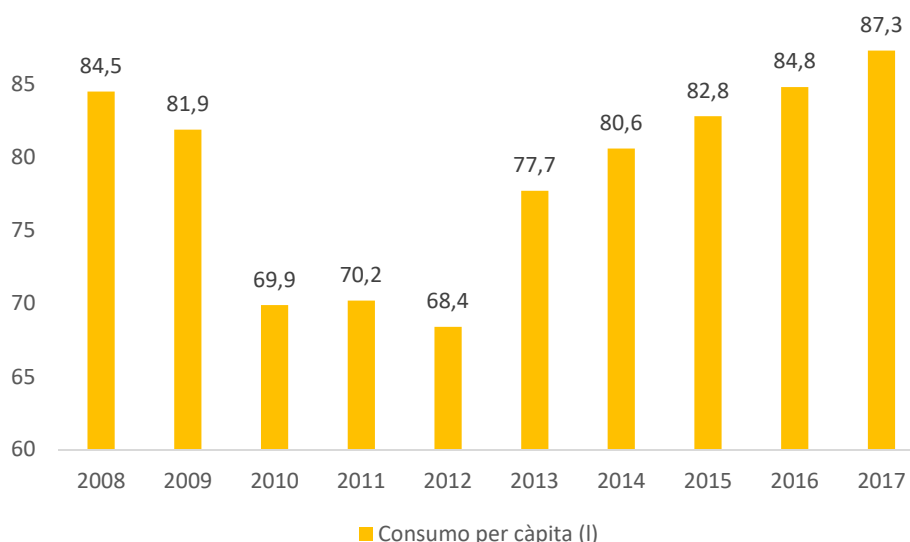


Figura 2.1. Evolución temporal del consumo de cerveza por habitante en España en la última década (datos de 2008 hasta 2017)<sup>1</sup>

La popularidad de la cerveza entre el consumidor es indiscutible. Según datos del año 2017, en España se consume de media unos 87 litros por habitante y año, situándose así séptimo país en consumo per cápita, por debajo de República Checa, Austria, Alemania, Polonia, Rumania e Irlanda.<sup>1</sup> Este valor ha ido aumentando en la última década, tras una fuerte debacle en la época de mayor recesión económica del país, tal y cómo se muestra en la Figura 2.1.

En la última década, ha habido un sector cervecero que ha crecido continuamente hasta pasar de un 2 a un 12 %. Es el caso del sector de la cerveza artesana.<sup>2</sup>

## **2.1. Alcance del proyecto**

Este proyecto está enfocado para todas aquellas personas que estén interesadas en profundizar en el proceso de producción de cerveza. Servirá de ayuda tanto para quien tenga dudas sobre cualquiera de los pasos del proceso, para quien quiera ampliar sus conocimientos sobre la química que interviene en el mismo y para quien quiera tener una base sobre cómo llevar a cabo experimentos similares a los que se presentan.

Es importante que este trabajo se pueda comprender por sí mismo, ya que de otra forma un lector interesado en la materia podría decidir no leerlo por su dificultad. Por ello se ha mantenido un nivel lingüístico que se considera apto para el gran público.

## **2.2. Análisis del entorno**

A la hora de desarrollar un trabajo de final de grado, es de suma importancia conocer el estado del tema objeto de estudio. En este caso, en los apartados siguientes se va a tratar tanto la historia de la cerveza como el impacto económico que tiene actualmente y los perfiles de consumidores que existen.

### **2.2.1. Historia de la cerveza**

La cerveza puede definirse de varias formas. Una de ellas es refiriéndose a ella como un producto químico, el cual es producido mediante las reacciones químicas que suceden en los pasos de producción. Desde la extracción de azúcares del grano tostado hasta la producción de alcohol y dióxido de carbono.

No obstante, este producto no siempre ha tenido las características que se le atribuyen actualmente. En sus orígenes, la cerveza estaba mucho de ser el líquido claro y espumoso que conocemos hoy en día.

La cerveza ha sido ampliamente consumida a lo largo de la historia. Los primeros indicios del uso de esta datan de hace más de 7 mil años, en la antigua Mesopotamia. No obstante, ese producto antiguo ha estado presente en numerosas regiones desde hace miles de años.

En España, por ejemplo, la cerveza no fue popular hasta el siglo XVI. Fue Carlos I de España y V de Alemania quien la popularizó. El emperador se retiró al monasterio de Yuste, situado en la provincia de Cáceres. Ahí instaló una pequeña fábrica de cerveza, que

curiosamente funciona a día de hoy (con los necesarios cambios técnicos del equipo), y tiene su propia marca de esta bebida.

La cerveza ha evolucionado durante la historia hasta haberse convertido en lo que es hoy. Hubo dos puntos de inflexión: el uso del lúpulo en la bebida (anteriormente se usaban especias diversas para conseguir sus propiedades organolépticas características) y el conocimiento del método de funcionamiento de la reacción química de la fermentación.

### 2.2.2. Análisis del entorno económico

En España, el sector de la cervecería artesana está en auge. Durante la última década (datos de 2007 a 2017), el consumo de cerveza ha aumentado un 9 %, hasta situarse muy cerca de los 40 millones de hectolitros. Esto podría deberse a la mejora de la economía del país, así como al aumento de la afluencia anual de turistas.

Durante este decenio, la coyuntura económica ha producido un cambio en el tipo de consumo. Se ha incrementado el consumo de cerveza en el hogar un 44 %, mientras que el consumo en el sector de la hostelería ha bajado un 5 %.

A continuación, se muestra un gráfico en el que se visualiza la evolución temporal del consumo de cerveza en la última década en España.

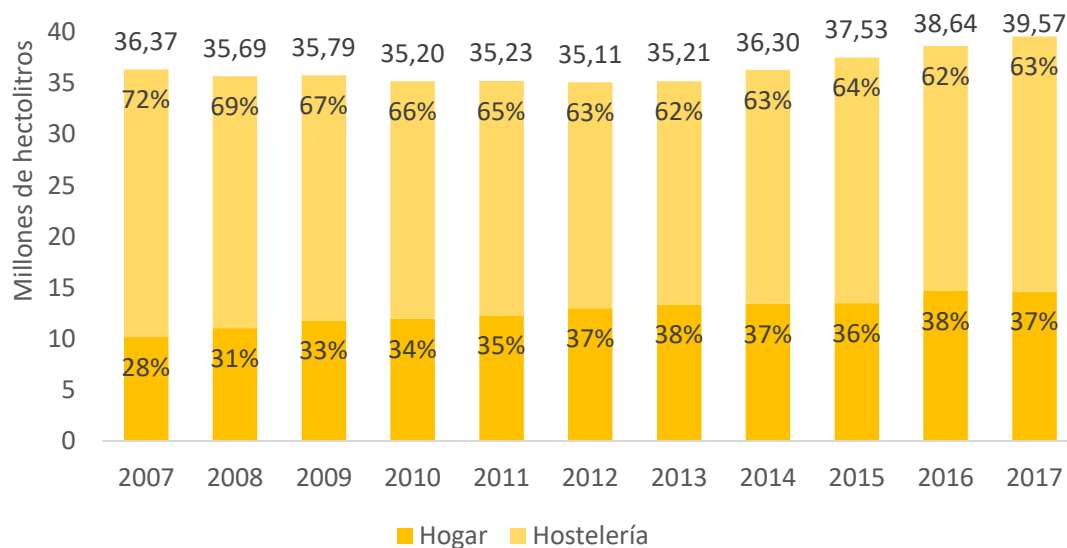


Figura 2.2. Evolución del consumo de cerveza aparente por canal (Fuente: <https://cerveceros.org>)

A la vista de los datos expuestos, se puede extraer que ahora se vive un momento al alza del sector. Una empresa cervecera es económicamente viable actualmente.

Este crecimiento del consumo ha producido que hayan proliferado nuevas empresas cerveceras, llegando a la cifra de 521 a finales de 2017, tras crearse 35 cervecerías nuevas durante dicho año. En este aspecto destaca Cataluña, que acoge 103 de estas compañías.

Este crecimiento ha permitido a entrada al mercado de la cerveza artesana. Esto es debido en parte a que el consumidor medio español cada vez da más importancia a la existencia de gran variedad de cervezas para poder elegir en función de cada momento de consumo.<sup>2</sup>

En cuanto a la cerveza artesana, el crecimiento experimentado por el sector es claramente mayor. En el año 2017, la tasa de crecimiento de la producción de esta bebida fue del 36 %, hasta alcanzar los 170.000 hectolitros. Este incremento venía precedido por un aumento de la producción del 47 % en el año anterior. Hasta la entrega del presente proyecto no hay datos más actuales del crecimiento del sector. Aun así, se estima un crecimiento de la producción del 29,4 % en 2018 y un 21 % en 2019.<sup>3</sup>

## **2.3. Materias primas**

Como para cualquier producto químico, la materia prima es de suma importancia, ya que es la que compone el producto. Una de las características de la cerveza artesana es que la materia prima debe ser de la mejor calidad posible, aunque ello suponga un coste económico mayor. En cambio, en las cervecerías más grandes suele buscarse un punto medio entre calidad y precio, también debido a que la cantidad de materia prima que se usa para abastecer una planta de producción de una cervecería comercial es varias magnitudes mayores que la que pueda requerir una cervecería artesana.

En el caso de la cerveza, los cuatro ingredientes son el agua, la malta, el lúpulo y la levadura. La forma en que interviene cada uno es determinante e imprescindible para que el producto final pueda considerarse cerveza. Si faltase uno de ellos, es muy difícil que el producto resultante guarde algún parecido con la cerveza.

Para realizar cualquier receta hay que tener en cuenta las propiedades de cada una de las materias primas, ya que de ello dependerá la calidad del producto final. Es necesario al crear la receta elegir la materia prima dependiendo del perfil organoléptico que se desee lograr.

### **2.3.1. Agua**

El agua es el componente principal de la cerveza, ya que constituye aproximadamente el 90 por ciento de la misma. Debido a su cantidad en el producto final, es primordial que las características de la misma permitan conferir a la cerveza las cualidades que el cervecero busca.

Para tal efecto, hay multitud de estudios y libros que correlacionan ciertas propiedades de la cerveza con las propiedades del agua que se ha usado para su elaboración. Las propiedades que más afectan al resultado final son las cantidades de los diferentes minerales del agua. En la Tabla 2.1 se define la función de cada uno de los seis iones presentes en el agua más importantes, así como su efecto en el proceso.

<b>Ión</b>	<b>Mínimo (ppm)</b>	<b>Rango sugerido (ppm)</b>	<b>Función</b>
<b>Calcio (<math>\text{Ca}^{2+}</math>)</b>	50	50-150	Estas sales son necesarias para diversas reacciones químicas presentes en la fermentación. Pueden ser suministradas por la malta.
<b>Magnesio (<math>\text{Mg}^{2+}</math>)</b>	5	0-30	La alcalinidad determina el pH del mosto y de la cerveza. Normalmente cervezas rojas u oscuras toleran mejor este parámetro. A mayor alcalinidad
<b>Alcalinidad*</b>	-	0-100/120	pueden aparecer sabores astringentes y desagradables.
<b>Sodio (<math>\text{Na}^+</math>)</b>	-	0-100	Niveles altos de sodio pueden provocar sabores metálicos en la cerveza. Su concentración incrementa al usar la técnica de descalcificación.
<b>Cloro (<math>\text{Cl}^-</math>)</b>	-	50-150	Su presencia acentúa el sabor a malta, sabor dulce y el cuerpo de la cerveza. Si está presente en exceso puede ser perjudicial para el equipo usado
<b>Sulfato</b>	-	50-400	El sulfato acentúa el amargor del lúpulo, pero a concentraciones más elevadas tiene efectos negativos en el sabor.

Tabla 2.1. Iones presentes en el agua más importantes en la elaboración de cerveza. \*La alcalinidad está expresada en ppm de  $\text{CaCO}_3$ . Esta medida cuantifica la cantidad de ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )<sup>4</sup>

Para usar el agua en la producción, el cervecero debe saber qué concentraciones iniciales de iones quiere utilizar. Hay herramientas y hojas de cálculo para tal efecto, y la experiencia juega un factor importante. Para modificar las propiedades del agua hay diferentes técnicas, como las que se presentan a continuación:

#### **2.3.1.1. Filtración con carbono activo**

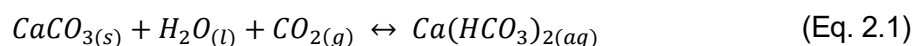
Esta técnica sirve para eliminar ciertos compuestos no deseables o en exceso en el agua. En el tratamiento de agua para producción de cerveza, se usa la filtración para eliminar el

exceso de cloro, sobre todo si el agua proviene de la red de suministro de una ciudad. En este caso el cloro es añadido como agente antimicrobiano.

### **2.3.1.2. Acidificación del agua**

En caso de que la alcalinidad del agua sea superior 200 ppm, es conveniente acidificarla. Como se ha explicado en la Tabla 2.1, a valores superiores a 120 ppm pueden aparecer sabores astringentes en la cerveza, algo a evitar. Para reducir este valor, en la industria cervecera suele usarse empleando ácido láctico o fosfórico apto para consumo humano.

En caso de que el valor de alcalinidad sea alto, el uso de ácidos puede afectar al sabor de la cerveza, de forma que es preferible eliminar el carbonato del agua. Para ello, una técnica utilizada por muchos cerveceros es hervir el agua. A continuación, se muestra la ecuación que tiene lugar durante el hervido:



Mediante este proceso se consigue eliminar el  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua, haciendo que el equilibrio químico descrito por la ecuación 2.1 se vea desplazado. Esto provoca que el bicarbonato disuelto en agua pase a carbonato que precipita en el fondo del tanque de hervido en forma de  $\text{CaCO}_3$  y es fácilmente eliminado.

### **2.3.2. Malta**

La malta es el segundo componente más abundante en la cerveza. Compone aproximadamente el 10 % de la misma. De ella se extraen muchos de los componentes necesarios para la fabricación de la cerveza, entre ellos los azúcares que aportan el cuerpo y los azúcares fermentables que finalmente serán convertidos en etanol.

Hay diversos cereales de los que se puede producir malta para fabricación de cerveza (Figuras 2.3 i 2.4). El cereal por excelencia en la elaboración de este producto ha sido históricamente la cebada. También hay estilos o cervecerías en los cuales se utilizan malta de otros cereales como lo son el trigo, la avena, el sorgo, el mijo, el maíz o el arroz.<sup>5</sup>

No obstante, no se utiliza el cereal crudo en el proceso de elaboración de cerveza. Para que pueda ser utilizado, debe pasar antes por el proceso de malteado, que es explicado en este apartado.



Figura 2.3 Malta de cebada lista para usar en el proceso productivo. Fuente propia



Figura 2.4 Flor de lúpulo listo para emplear en el proceso productivo. Fuente propia.

### **2.3.2.1. Malteado**

Del grano de cereales crudo es muy difícil poder extraer los azúcares presentes en el mismo. El proceso de malteado hace estos componentes accesibles al agua empleada durante el proceso de maceración.

La malta se trata básicamente de grano de cereales tostado en un momento determinado de su germinación. El malteado, entonces, comienza con la recogida del grano.

Tras la recolección se procede a incrementar la humedad del grano. Mediante adición de agua con espray, se aumenta este parámetro de un 12 a un 40 por ciento en peso. En esta proporción el proceso de germinado sucede de manera óptima, siendo necesarios tan solo de 2 a 4 días para darse por completado este paso.

Debido a las señales hormonales enviadas por el germen del grano, éste empieza a mostrar una raíz por un extremo. Se empieza a desarrollar un brote dentro de la cáscara del mismo.

En un momento muy concreto de la germinación (en el caso del grano de cebada se trata de unos 11 días) se aplica calor para detener dicho proceso. En este momento el grano tiene una alta cantidad de almidón en el interior, sustancia que es de suma importancia, ya que es a partir de la cual se van a conseguir los azúcares necesarios para el proceso. En su interior, también, se encuentran las enzimas necesarias para el proceso (en el apartado de maceración se haya la descripción de estas y su función). Mediante esta aplicación de calor, no solo se inactiva el germen y el grano, sino que se tuesta para sí concluir el proceso de malteado.

Dependiendo del tiempo y temperatura de aplicación de calor se obtiene un tipo de malta u otra.



Las llamadas maltas base son las que se han tostado durante menos tiempo. En ellas las enzimas siguen casi intactas, por lo que su funcionalidad no se verá afectada.

Empleando más tiempo de tueste, habrá menos enzimas presentes en la malta y el sabor será cada vez más caramelizado. Estas son las llamadas maltas de color.

Si se tuesta el grano aún por más tiempo, se consigue una malta sin apenas enzimas (por lo que la malta base será necesaria en la mezcla de materias primas) y con un aroma tostado y un color oscuro características. Son las llamadas maltas tostadas.<sup>6</sup>

### **2.3.3. Lúpulo**

El tercer elemento en orden ponderal decreciente constituyente del producto objeto de estudio es el lúpulo.

Las primeras evidencias del uso de lúpulo en cerveza datan de aproximadamente 0 D. C. y se encontraron en vasijas en el norte de Italia. Aun así, se considera que el lugar en que se empezó a usar lúpulo en la elaboración de este producto fue Alemania, alrededor de los siglos VII y VIII. Esta materia prima se fue extendiendo hasta ser considerada la especia más usada en el proceso alrededor de 1600 D. C.

El lúpulo es una planta (*Humulus lupulus*). Esta especie tiene forma tanto femenina como masculina. La parte que se utiliza en el proceso es la flor femenina sin fecundar. Esta materia prima se puede emplear en forma de flor o de pellets. Cada una de estas formas tiene sus ventajas respecto a la otra, siendo la forma en pellet L predominante en grandes cervecerías. También se pueden emplear extracto líquido de lúpulo.

En cuanto a los efectos del lúpulo en el proceso de producción, tiene dos funciones principales muy claras. La primera es la aportación del amargor característico de la cerveza, y la segunda la aportación del aroma. También tiene una propiedad antiséptica. En este apartado se explican estas funciones en detalle.

#### **2.3.3.1. Aportación de amargor**

Entre un 2 y un 20 por ciento en peso del lúpulo son ácidos alfa. Estos compuestos se encuentran en las glándulas resinosas de la flor femenina no fecundada, de ahí que sea esta la parte de la planta que se usa en el proceso. No obstante, estos compuestos no son amargos ni solubles en agua. Para poder aportar el amargor característico al producto, se debe realizar un proceso de hervido. En este proceso la elevada temperatura aumenta la solubilidad de los ácidos alfa a la vez que se produce la reacción de isomerización.

La sustancia resultante de esta reacción se denomina isohumulona, y es la encargada del amargor en el producto final.

La isohumulona, al tener un punto de ebullición superior al del agua (y que el mosto, que es ligeramente superior al del agua), no corre peligro de volatilizarse y desaparecer de la mezcla. Siguiendo un método de razonamiento analítico, puede decirse que, a mayor tiempo de cocción del mosto en presencia de lúpulo, mayor amargor tendrá el producto final.

### **2.3.3.2. Aportación de aroma**

Por otra parte, uno de los componentes de esta materia prima es los aceites esenciales.

Estos compuestos, que suelen representar entre el 5 y el 15 por ciento del total en peso del lúpulo, son las sustancias aromatizantes que aportarán el sabor característico al producto final.

A diferencia de los componentes que confieren el amargor a la cerveza, hay multitud de aceites esenciales diferentes, por lo que usar un tipo u otro de lúpulo puede afectar drásticamente el aroma del producto terminado.

En el proceso de hervido del mosto con el lúpulo estos compuestos tienden a volatilizarse, debido a su bajo punto de ebullición, y desaparecer de la mezcla. Por este motivo, se suele añadir el lúpulo que se quiere que aporte el aroma a la cerveza al final del proceso de hervido, siendo habitual que éste se mantenga en ebullición entre los 10 y los 0 últimos minutos del proceso.

Hay otros métodos para conseguir las propiedades aromáticas del lúpulo, que se explicarán en el apartado “proceso de producción”.<sup>7</sup>

### **2.3.4. Levadura**

El componente menos abundante en la elaboración de cerveza es, sin duda, la levadura. No obstante, no existiría la cerveza sin su acción, imprescindible para el proceso productivo.

Las levaduras son microorganismos unicelulares pertenecientes al reino de los hongos. En el ámbito de la cerveza son usadas para convertir los azúcares fermentables presentes en el mosto en etanol y CO<sub>2</sub>. Estos dos compuestos son clave para considerar el producto final como cerveza. Hay dos tipos principales de levadura empleados en el proceso productivo de cerveza: *Saccharomices cerevisae* para la producción de cervezas ale, o de alta fermentación y *Saccharomices pastorianus* para la producción de cervezas lager.

La diferencia entre estos dos tipos radica en el efecto que tienen sobre el producto final. Aunque su función es la misma, la de producción de etanol y CO<sub>2</sub> a partir de oligosacáridos, el uso de uno u otro tipo confiere diferentes propiedades organolépticas al producto final.

Debido a una mayor temperatura óptima de trabajo de las levaduras para producción de cerveza ale (entre 18 y 24 °C) frente a las levaduras para producción de cerveza lager (entre 10 y 13 °C) se ha decidido emplear *Saccharomices cerevisae* en el desarrollo del proyecto.

## 2.4. Proceso de producción

El proceso general de elaboración de cerveza consta de numerosos pasos, muchos de los cuales pueden llevarse a cabo de diferentes formas, o no son estrictamente necesarios. Es por eso que cada equipo dedicado a la elaboración de cerveza es diferente y tiene un sistema de funcionamiento diferenciado.

En este apartado se va a explicar el proceso general de producción que se podría llevar a cabo en una microcervecera avanzada. A continuación, se presenta un esquema en el que aparecen todos los pasos.

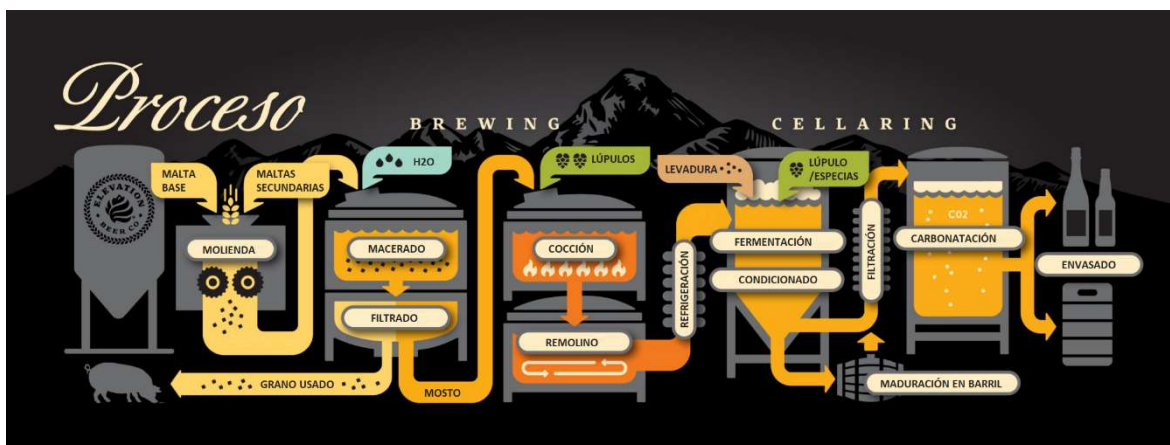


Figura 2.5. Esquema del proceso general de producción de cerveza. Fuente: traducido de elevationbeerco.com

En este apartado se profundizará sobre cada uno de estos pasos, haciendo mención de los posibles equipos empleados en cada uno de ellos, y finalmente se adaptará la explicación a los equipos utilizados para este proyecto.

### 2.4.1. Preparación de las materias primas

Como ha sido explicado, las materias primas principales que se emplean en la producción de cerveza son las siguientes: agua, malta, lúpulo y levadura. En la Tabla 2.2 se expone un

ejemplo de requerimiento de materia prima para uno de los experimentos llevados a cabo en el proyecto:

También es necesario emplear ciertos materiales consumibles o reciclables durante el proceso como son: botellas de cristal, desinfectante (ácido fosfórico), agua de limpieza y de refrigeración.

En el proceso de producción se empieza por la preparación de la materia prima. Normalmente en las productoras de cerveza artesana el grano que se usa viene ya malteado, proceso detallado en un apartado anterior. El primer paso en la planta es, entonces, la molienda de la malta para hacer los azúcares y enzimas disponibles en el grano accesibles al agua. En cuanto al agua, habitualmente se hace un tratamiento previo a la producción para adecuar el agua al perfil de la cerveza deseada.

<b>Malta</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
<b>Pale malt</b>	3,870	86,0
<b>Munich I</b>	0,405	9,0
<b>Crystal T50</b>	0,225	5,0
<b>Lúpulo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>Target</b>	15,0	60
<b>Target</b>	10,0	15
<b>Perle</b>	10,0	0
<b>Agua</b>	<b>Volumen macerado (l)</b>	<b>Volumen lavado (l)</b>
<b>Tratada</b>	15,3	8,3
<b>Levadura</b>	<b>Peso (g)</b>	
<b>Saf Ale S-04</b>	11,5	

Tabla 2.2 Ejemplo de requerimientos de materia prima para una producción de 13 litros.

## **2.4.2. Maceración**

Una vez listas estas dos materias primas, se procede al proceso de macerado. En este paso, se infunde la malta molturada con agua caliente (la temperatura de la cual variará dependiendo de las propiedades de la cerveza deseadas) durante un periodo de tiempo que suele ser igual o superior a una hora. A esta mezcla de agua y malta se le llama empaste, y al líquido compuesto por el agua y las sustancias extraídas del grano se le llama mosto.

En este proceso, se extrae el almidón presente en la malta junto con enzimas. Éstas se encargarán de convertir el almidón en polisacáridos más cortos. Para entender este proceso, es necesario hacer un inciso para hablar de estas moléculas

### **2.4.2.1. Enzimas**

Las enzimas son moléculas que hacen la función de catalizador de reacciones químicas. Las enzimas reducen la energía necesaria para que se lleve a cabo la reacción, por lo que

facilitan el desarrollo de estas. Esto no quiere decir que las enzimas sean necesarias para la reacción química, sino que incrementan la velocidad de la misma. La forma habitual de nombrar una enzima es usando el nombre de la reacción que cataliza y el sufijo “-asa”.

Las enzimas tienen un papel muy importante durante el proceso de macerado, ya que sin ellas no sería posible la extracción de azúcares fermentables del grano usado en el proceso. En la malta existen numerosos tipos de encima, que tienen diferentes rangos de actividad óptima en relación a pH y temperatura de macerado. En la Tabla 2.3 se muestran las enzimas que están presentes en la malta, junto los correspondientes rangos de actividad enzimática óptima respecto pH y temperatura.

Enzima	Rango óptimo de temperatura (°C)	Rango óptimo de pH
<b>Fitasa</b>	35 - 45	4,5 - 5,2
<b>β-Glucanasa</b>	40 - 48	4,5 - 5,5
<b>Proteasas</b>	45 - 55	5,0 - 5,5
<b>Peptidasas</b>	45 - 55	5,0 - 5,5
<b>α-glucosidasa</b>	60 - 70*	5,0 - 5,5
<b>Dextrinasa límite</b>	60 - 65	4,8 - 5,4
<b>β-amilasa</b>	55 - 65	5,4 - 5,5
<b>α-amilasa</b>	60 - 70	5,6 - 5,8

Tabla 2.3. Rangos óptimos de actividad enzimática para 8 enzimas que están presentes en el grano.

\*Se refiere al rango de actividad, no de actividad óptima.<sup>8</sup>

La fitasa es la enzima menos importante de las mostradas, ya que su función no es necesaria para el desarrollo del macerado. Su función es acidificar la mezcla presente en el tanque de macerado, pero debido a su baja temperatura de actividad es difícil que actúe de forma significativa durante el proceso de macerado, que suele hacerse entre unos 60 y 70 °C.

### 2.4.3. Recirculación y regado

Una vez transcurrido el tiempo necesario para el macerado, hace falta filtrar el mosto (nombre que se le confiere a la mezcla entre el agua y los materiales que se extraen del grano). Para ello, se procede a recircular el mosto durante un tiempo para que sea aclarado dentro del propio empaste. Además, normalmente se lleva a cabo lo que se llama lavado. Esto es, añadir agua a una temperatura superior a la de maceración a la mezcla entre mosto y residuo sólido a medida que el tanque de macerado es vaciado, para favorecer una mejor extracción de los azúcares aún presentes en la superficie del grano, así como conseguir un valor de densidad determinado por la receta.

## **2.4.4. Adición de lúpulo**

El residuo sólido, que es el grano húmedo, es separado del mosto y suele usarse como pienso para animales de granja. El mosto ahora está preparado para recibir las propiedades amargas y aromáticas del lúpulo. En este apartado se definen los diferentes tipos de adición de lúpulo más comunes.

### **2.4.4.1. Ebullición**

Este método es una parte clave del proceso, ya que es la única forma en la que se podrá conferir el amargor característico de la cerveza de parte del lúpulo, tal y como se ha explicado en apartados anteriores.

El mosto es vaciado en el tanque de ebullición. A continuación, se calienta hasta llegar al punto de ebullición, ligeramente superior al del agua. Este proceso, el hervido, suele durar una hora. En este paso es donde se añade el tercer ingrediente, el lúpulo, que aportará al mosto el aroma y amargor característicos de la cerveza. Cada receta tiene un perfil de adición de lúpulos diferente, cambiando tanto el tipo de lúpulo como el tiempo que está en la olla hirviendo. Una de las características de este paso es que el lúpulo y la temperatura actúan como agentes esterilizantes, por lo que a partir del paso del hervido es necesario que todos los elementos que entren en contacto con el mosto estén esterilizados.

En la producción de cervezas hay una notación específica para los tiempos de adición del lúpulo. Se indica el tiempo que el lúpulo debe estar hirviendo. Por tanto, un lúpulo de adición 60' estará en el tanque de hervido durante una hora, y uno con un tiempo de adición de 0' se añadirá al final del proceso de hervido.

El lúpulo que se usa para aportar amargor a la mezcla se suele hervir alrededor de una hora, mientras que el que se usa para conferir el aroma suele hervir menos de 15 minutos.

### **2.4.4.2. Dry hopping**

Otro método de adición de lúpulo es el llamado *dry hopping*. Este método se utiliza para cervezas que requieran un aroma muy marcado a lúpulo. Una vez el proceso productivo se encuentra en la fase de fermentación, se abre el tanque fermentador y se le introduce lúpulo en forma de pellet o flor. El lúpulo se quedará en el tanque hasta el día de envasado.

### **2.4.4.3. Mash hopping**

Este método es menos conocido que los dos anteriores. Se trata de añadir lúpulo en el proceso de macerado. No está extendido debido a que al ser la temperatura del macerado inferior a la propia de la reacción de isomerización de las humulonas los compuestos que se

extraen del lúpulo tan sólo sirven para el aroma, y no para el amargor. Lo malo de este método es que con mucha facilidad el aroma que se confiere al mosto en el macerado fácilmente desaparecerá en el proceso de hervido.<sup>9</sup>

#### **2.4.5. Refrigeración**

Una vez terminado el hervido se procede a refrigerar el mosto. Hay diferentes métodos habituales en el sector de la microcervecería. El más usado es el uso de un intercambiador de calor por el que se hace pasar agua fría hasta rebajar la temperatura.

Los intercambiadores más usados son el intercambiador de placas, por su gran rendimiento y el serpentín de acero inoxidable por su bajo coste.

Tras llevar el mosto a la temperatura necesaria para iniciar la fermentación, se trasvasa al fermentador.

#### **2.4.6. Fermentación alcohólica**

El trasvase se suele hacer desde cierta altura para oxigenar el mosto o añadiendo oxígeno puro al líquido. Una vez trasvasado, se añade el último ingrediente: la levadura. El oxígeno es necesario para el proceso de crecimiento del microorganismo. Este organismo convierte el azúcar fermentable en etanol y dióxido de carbono. Este último se deja escapar del fermentador a través de un *airlock*, un elemento que deja escapar gas a la vez que no deja entrar ningún elemento al depósito.

En determinadas recetas, durante la fermentación puede ser necesario añadir lúpulo u otras materias aromatizantes, como pueden ser especias, extractos de fruta... Este paso se conoce como condicionado.

Transcurridos unos días, dependiendo de la receta, se procede a envasar el mosto, ahora ya muy parecido a la cerveza. Se trasvasa el líquido a recipientes diversos, que pueden ser botellas, latas o barriles. Para conseguir la gasificación del producto se suele elegir entre directamente inyectar CO<sub>2</sub> al mosto o añadir azúcar para que se produzca una segunda fermentación, en la cual este gas no tendrá una vía de escape y se infundirá en la cerveza.

Una vez envasada, sólo hace falta esperar unos días más, normalmente entorno a dos semanas para que la cerveza sea apta para consumo.

## **2.5. Equipos empleados en el proyecto**

Se explican a continuación el proceso llevado a cabo durante el desarrollo del presente proyecto. Se omiten pasos que se llevarían a cabo en plantas más grandes o en una compañía productora de cerveza, como serían el paso de moltura de la malta.

### **2.5.1. Planta piloto**

En este apartado se detalla el método de funcionamiento de la planta existente dentro del proyecto Aichemia, sobre la cual se ha realizado uno de los experimentos del proyecto.

#### **2.5.1.1. Molienda**

El proceso comienza con la molienda. La planta dispone de un molino manual para tal efecto.

#### **2.5.1.2. Tratamiento de agua**

En esta planta se utiliza agua de red tratada. Para ello, se emplea el proceso de ebullición para eliminar la dureza en exceso y se añaden sales según receta.

#### **2.5.1.3. Macerado**

La planta cuenta con un tanque de 50 litros agua caliente de acero inoxidable (HLT, por sus siglas en inglés) que contiene una resistencia de 5500 W. Aquí es donde se calienta el agua de macerado. Mediante una bomba esta agua es traspasada al macerador, también de 50 litros y de acero inoxidable. Éste cuenta con una capa de aislante térmico para minimizar pérdidas de calor.

#### **2.5.1.4. Hervido**

Transcurrido el tiempo del macerado, el mosto se recircula mediante la bomba durante unos minutos. Tras ello, se trasvasa hasta el tanque de ebullición, a la vez que se hace el regado con agua proveniente del HLT. El tanque de hervido también tiene 50 litros de capacidad y es de acero inoxidable. Cuenta con una resistencia de 2300 W.

#### **2.5.1.5. Refrigeración**

Para rebajar la temperatura del mosto a un valor que la levadura pueda soportar, se usa un sistema de recirculación cerrado de agua con hielo, mediante un intercambiador de calor de placas. Para efectuar esta parte del proceso, se cuenta con la bomba principal y una secundaria, con menos caudal volumétrico.



#### **2.5.1.6. Fermentación**

Actualmente la planta cuenta con 8 fermentadores de diversos tamaños, siendo el más frecuente 27 litros. Recientemente se adquirió uno de 50 litros de capacidad.

#### **2.5.1.7. Embotellado**

Para finalizar el proceso productivo, la planta consta con un embotellador de palanca. Se trata de un proceso muy manual pero fácilmente realizable con el volumen de producción actual.

### **2.5.2. Equipo experimental**

Para los otros tres experimentos del trabajo, se ha decidido no emplear la planta piloto desarrollada para el proyecto Aichemia, debido a que la cantidad de cerveza mínima que se puede producir con dicho equipo es de unos 13 litros, y se ha querido realizar menor cantidad para ello. A continuación, se detalla el equipo utilizado para el resto de los experimentos.

#### **2.5.2.1. Molienda**

En este caso el proceso de molienda no se realiza en la planta. Se ha decidido comprar la materia prima ya molida para facilitar el proceso, ya que se realizaba lejos del equipo ubicado en la planta de Aichemia.

#### **2.5.2.2. Tratamiento de agua**

Con este equipo se ha utilizado agua embotellada. En el caso del experimento sobre la cantidad de sales en el agua se usó agua destilada con adición de sales.

#### **2.5.2.3. Macerado**

El equipo cuenta con una olla de 6 litros de acero inoxidable para calentar agua, que se utiliza en una placa de inducción de potencia controlable. Una vez el agua llega a la temperatura necesaria para el macerado, se transvasa al tanque de macerado. Éste es un cubo de polipropileno alimentario de 4 litros. Para controlar la temperatura se emplea la técnica del baño maría con la olla de agua caliente, de forma manual.

#### **2.5.2.4. Hervido**

Transcurrido el tiempo del macerado, el mosto se recircula manualmente durante unos minutos. Tras ello, se trasvasa hasta la olla de ebullición, también de 6 litros y de acero

inoxidable que son los mismos que de calentamiento de agua, a la vez que se hace el regado con agua proveniente de la olla de agua caliente, previamente transvasada.

### 2.5.2.5. Refrigeración

Para rebajar la temperatura del mosto a un valor que la levadura pueda soportar, se emplean botellas llenas de hielo, previamente desinfectadas, dentro del mismo tanque de fermentación.

### 2.5.2.6. Fermentación

Actualmente el equipo experimental cuenta con 4 fermentadores de 4 litros de capacidad. El material del que se componen es polipropileno alimentario y durante la realización del proyecto se les instaló un grifo y se les recortó un agujero para el airlock.

### 2.5.2.7. Embotellado

Para finalizar el proceso productivo, se ha empleado un embotellador manual. Debido a la baja cantidad de producción del equipo experimental no se requería el uso de sistemas más complejos.

## 2.6. Gantt de proceso

En la Figura 2.6 se muestra el diagrama de proceso de una sesión de tres producciones. En las Tablas 2.4 y 2.5 se encuentran la descripción de los procesos y de los equipos, respectivamente.

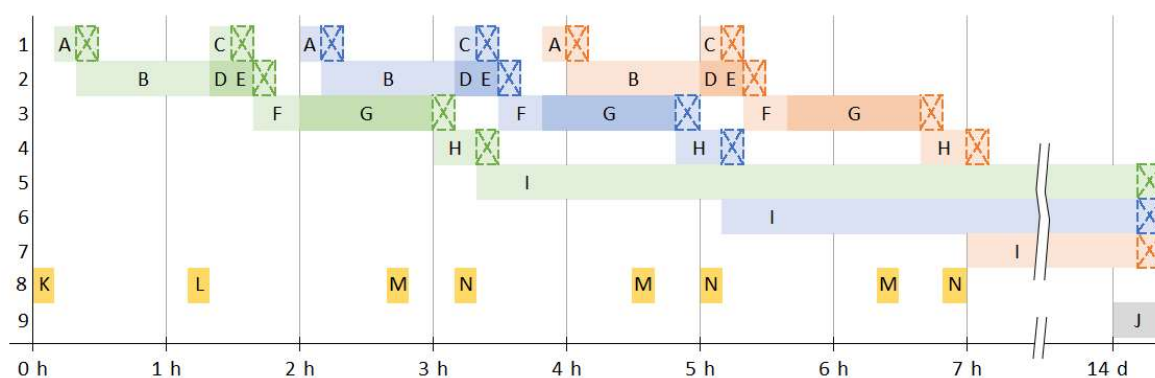


Figura 2.6 Diagrama de Gantt del proceso productivo. Fuente: propia

Actividad	Duración	Descripción
A	10'	Calentar el agua destinada a la maceración.
B	60'	Macerado.
C	10'	Precalentar más agua para lavar el grano en la maceración.

<b>D</b>	10'	Recirculación del mosto.
<b>E</b>	10'	Regado del mosto. Traspaso a la olla de cocción.
<b>F</b>	20'	Calentar el mosto hasta ebullición.
<b>G</b>	60'	Ebullición y adición de lúpulo.
<b>H</b>	20'	Refrigeración
<b>I</b>	14d	Adición de las levaduras y fermentación (*según receta)
<b>J</b>	3h	Embotellado.
<b>K</b>	10'	Limpieza del tanque calefactor de agua y el tanque de macerado.
<b>L</b>	10'	Limpieza del tanque de hervido.
<b>M</b>	15'	Limpieza y desinfección del sistema de refrigeración.
<b>N</b>	45'	Limpieza del tanque de fermentación

Tabla 2.4 Lista de pasos llevados a cabo durante el proceso productivo.

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Tanque calefactor de agua
<b>2</b>	Macerador
<b>3</b>	Tanque de hervido
<b>4</b>	Sistema de refrigeración (según equipo)
<b>5</b>	Fermentador 1
<b>6</b>	Fermentador 2
<b>7</b>	Fermentador 3
<b>8</b>	Desagüe de la planta
<b>9</b>	Sala de la planta

Tabla 2.5 Lista de equipos y espacios utilizados durante el proceso productivo

## 2.7. Técnicas de recogida de datos

Como en todo proyecto experimental, debe haber una recogida de datos del sistema objeto de estudio para poder realizar un análisis objetivo del mismo.

En este caso el sistema objeto de estudio es el proceso de producción, así que la recogida de datos está destinada a poder explicar qué importancia tienen ciertos parámetros sobre el producto final.

Se diferencian los métodos de toma de datos en tres partes:

### 2.7.1. Métodos analíticos

La primera parte engloba todas las técnicas analíticas cuantitativas empleadas para obtener resultados. En este proyecto se han llevado a cabo las técnicas que se detallan en el presente apartado.

### 2.7.1.1. Refractometría

En el ámbito de la industria cervecera hay un aumento notable del uso de técnicas analíticas fundamentadas en principios químicos en detrimento de las fundamentadas en principios físicos. Un claro ejemplo es la aceptación en el sector del uso del refractómetro como instrumento de medida de la densidad del mosto.

El refractómetro se basa en el principio de la refracción de la luz, que es una propiedad de cualquier sustancia, para medir el índice de refracción de una mezcla líquida.

El refractómetro empleado en la industria cervecera, y del que se dispone en la asociación, está preparado para mezclas de agua y azúcar, permitiendo una lectura directa de la densidad del líquido antes de que se produzca la fermentación alcohólica.



Figura 2.7 Refractómetro empleado habitualmente en el sector de producción de cerveza. Fuente: amazon.es

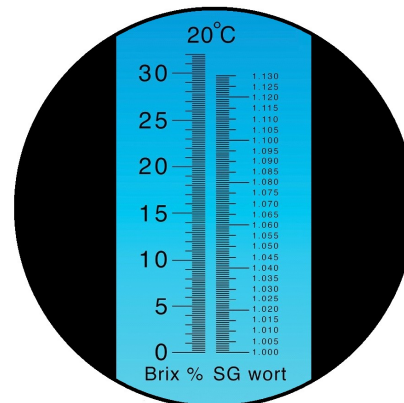


Figura 2.8 Escala de un refractómetro adaptada al sector cervecero. A la derecha se puede leer directamente el valor de densidad de la mezcla. Fuente: editada de alibaba.com

### 2.7.1.2. Hidrometría

Una vez producida la fermentación, no se puede usar el refractómetro para determinar la densidad del producto, ya que éste no está diseñado para mezclas que contengan alcohol.

Para conocer la densidad de una mezcla con alcohol como puede ser la cerveza, se emplea la técnica de hidrometría. Este método se basa en la introducción de un densímetro higrómetro en un recipiente que contenga el líquido objeto de estudio. El higrómetro debe quedar flotando en el líquido.



Figura 2.9 Densímetro hidrómetro empleado en la industria de elaboración de cerveza, similar al empleado en este proyecto. Fuente: ebay.es

### **2.7.1.3. Espectrofotometría**

La luz se compone de ondas de diferente longitud. Cada compuesto químico tiene su propio espectro que se representa en la forma de una curva que muestra la cantidad de energía absorbida en un rango determinado de longitudes de onda. Según la ley de Lambert-Beer, para una determinada longitud de onda, la absorbancia es una función lineal de la concentración. Así pues, sabiendo la longitud de onda en la que se detecta un máximo de absorción para un determinado compuesto se puede obtener su concentración en una suspensión homogénea del mismo.

El espectrofotómetro proyecta un haz de luz en un rango de diferentes longitudes de ondas, o en una longitud de onda determinada, a través de una cubeta llena de una solución que contiene uno o más analitos.

En este proyecto se aprovecha esta propiedad de los compuestos químicos para tratar de determinar la concentración de ciertas sustancias que determinan ciertas características organolépticas del producto final.

La isohumulona absorbe luz a 275 nm, por lo que la determinación cuantitativa de esta sustancia será indicativa del amargor de la cerveza.

## **2.7.2. Métodos sensoriales**

La segunda parte se trata de un método de recogida de datos algo más subjetivo, pero no por ello menos importante.

### **2.7.2.1. Cata**

Se ha elaborado una hoja de cata donde se recogen diversos ítems en relación a las propiedades organolépticas del producto terminado. Estos datos, pese a ser subjetivos, permiten contrastar los resultados obtenidos de la toma de datos cuantitativos realizado durante el proyecto.

Empleando una población grande (en este caso de 20 personas) se permite minimizar la subjetividad de la cata.

## **2.7.3. Control de calidad**

Para comprobar la adecuación al consumo del producto final se ha realizado un estudio de viabilidad, en el que se ha querido ver la pureza del proceso de fermentación, así como se ha determinado el valor del pH.

Se incluye en este apartado la determinación del color del producto final, ya que este parámetro no es objeto de estudio en el presente proyecto, pero se puede determinar mediante espectrofotometría a 430 nm de longitud de onda a la vez que se determina el valor del amargor. Este valor puede transformarse fácilmente a unidades de color.<sup>10</sup>

## **2.8. Objetivos del proyecto**

Este proyecto cuenta con los siguientes objetivos:

- Comprobar el efecto de los parámetros de proceso sobre el producto final y comparar los resultados con bibliografía
- Cuantificar el efecto de la temperatura de maceración, el tipo de adición de lúpulo y las propiedades del agua sobre las propiedades organolépticas del producto final.
- Emplear el uso de técnicas analíticas para determinar la calidad del producto final.
- En concreto, emplear las técnicas de espectrofotometría, pH-imetría y cultivo microbiológico.
- Crear una guía experimental para el futuro desarrollo de estudios de otros parámetros.
- Implementar una planta piloto para producciones experimentales (unos 3-4 litros)

## 3. Experimentación

Para el desarrollo de este proyecto se han llevado a cabo 4 experimentos. En este apartado se explicará el proceso llevado a cabo para realizar los experimentos.

### 3.1. Identificación de variables

El primer paso en cualquier desarrollo experimental es determinar qué variables influyen sobre el proceso a controlar. Se considera una variable cualquier atributo de los elementos que intervienen en el proceso que sea medible y cuyo valor pueda variar.

Para llevar a cabo un experimento, es necesario identificar las variables dependientes y las variables independientes. Las variables independientes son aquellas que son manipuladas por el investigador, mientras que las variables dependientes son aquellas que el investigador mide para determinar la influencia de las variables independientes sobre el objeto del análisis.

En un proceso complejo, como es el caso de la producción de cerveza, hay numerosas variables. En este proyecto, se han tomado como variables independientes las siguientes:

- Temperatura de maceración
- Tiempo de adición del lúpulo
- Cantidad de sales presentes en el agua

Para controlar el efecto de estos parámetros sobre el producto final, se han tomado como variables dependientes las siguientes:

Variable	Explicación
<b>Grado alcohólico</b>	La graduación alcohólica es un indicativo de la cantidad de azúcares fermentables extraídos durante el proceso de macerado, ya que éstos son convertidos a etanol durante la primera fermentación.
<b>Amargor</b>	Este método experimental permite determinar el amargor en IBUs, que son la unidad más utilizada para ello. Sus siglas en inglés significan unidad internacional de amargor.
<b>Propiedades organolépticas</b>	Mediante una cata se determinan ciertas percepciones sobre el producto final para poder relacionar los parámetros de proceso con éstos.

Tabla 3.1 Variables medidas para la determinación del efecto de los parámetros de proceso sobre el producto final

También se han determinado ciertas variables de control de calidad para tratar de asegurar que el producto final es apto para consumo:

Variable	Explicación
pH	Existe en España una regulación del valor de pH aplicado a la cerveza. Se debe tener en cuenta este valor para determinar la aptitud alimentaria del producto.
Microorganismos presentes	Para garantizar que no haya habido contaminación durante el proceso, se ha decidido determinar qué microorganismos hay en el producto.
Color	Se determina en valor de color para detectar problemas de realización en las producciones.

Tabla 3.2 Variables medidas en el control de calidad del producto final

## 3.2. Condiciones experimentales

Se han realizado cuatro experimentos, las condiciones de los cuales se presentan en este apartado. En el presente apartado se detallarán las condiciones experimentales de cada uno de ellos, así como las hipótesis utilizadas en el estudio.

En los experimentos se han mantenido constantes el resto de los parámetros para todas las producciones.

En el anexo I se pueden encontrar la receta usada para cada uno de los experimentos.

También se describen las hipótesis bajo las cuales se realiza cada uno de ellos, junto con una previsión del efecto del parámetro en cuestión sobre el producto final.

### 3.2.1. Experimento 1

En estos experimentos se ha querido observar el efecto de la temperatura de maceración sobre las propiedades del producto final.

Este experimento se ha realizado con el equipo experimental desarrollado para el proyecto. La cantidad de producto final es de aproximadamente 3,5 litros por producción.

La nomenclatura empleada en este experimento se recoge en la tabla siguiente:



Nombre	Temperatura de macerado (°C)
T62A	62
T67	67
T72	72

Tabla 3.3 Temperaturas usadas en el macerado para el experimento 1

Las hipótesis planteadas para este experimento son las siguientes:

- H1.0: La temperatura de maceración no afecta las propiedades del producto final
- H1.1: La temperatura de maceración afecta las propiedades del producto final
  - H1.1.1: A mayor temperatura, menos cuerpo en el producto final
  - H1.1.2: A mayor temperatura, mayor graduación alcohólica

### 3.2.2. Experimento 2

En este experimento se ha querido observar el efecto del método de lupulización sobre las propiedades del producto final.

En este experimento, al compartir todas las producciones los parámetros del proceso de maceración, se decidió realizar la maceración de los 4 parámetros en el mismo tanque con el objetivo de reducir el tiempo de producción.

La nomenclatura empleada en este experimento se recoge en la tabla siguiente:

Nombre	Método de adición de lúpulo
SL	Sin lúpulo
L0	0'
DH	<i>Dry hopping</i>
L60	60'

Tabla 3.4 Métodos de lupulización usados en el experimento 2

Las hipótesis planteadas para este experimento son las siguientes:

- H2.0: El método de adición de lúpulo no afecta las propiedades del producto final
- H2.1: El método de adición de lúpulo afecta las propiedades del producto final
  - H2.1.1: A mayor tiempo de lupulización durante el hervido, más amargor
  - H2.1.2: A mayor tiempo de lupulización durante el hervido, menos aroma a lúpulo
  - H2.1.3: Mediante el método *dry hopping*, adición de aroma a lúpulo al producto final

### 3.2.3. Experimento 3

En este experimento se ha querido observar el efecto de la cantidad de sales en el agua usada para el proceso sobre producto final.

Este experimento se ha realizado con el equipo experimental desarrollado para el proyecto. La cantidad de producto final es de aproximadamente 3,5 litros por producción. La nomenclatura empleada en este experimento se recoge en la tabla siguiente:

Nombre	Temperatura de macerado (°C)
A1	Desionizada;
A2	70 ( $Cl^-$ ), 69 ( $Ca^{2+}$ ), 70 ( $SO_4^{2-}$ );
A3	140 ( $Cl^-$ ), 138 ( $Ca^{2+}$ ), 140 ( $SO_4^{2-}$ )

Tabla 3.5 Perfiles de agua usados en el experimento 3

Las hipótesis planteadas para este experimento son las siguientes:

- H3.0: El perfil mineral del agua no afecta las propiedades del producto final
- H3.1: El perfil mineral del agua afecta las propiedades del producto final
  - H3.1.1: A mayor concentración de sales, mayor graduación alcohólica
  - H3.1.2 A mayor cantidad de sales, más cuerpo

### 3.2.4. Experimento 4

En este experimento se ha vuelto a querer observar el efecto de la temperatura de maceración sobre las propiedades del producto final.

En primer lugar, se llevó a cabo un experimento de 3 producciones (ver experimento 1 en la Tabla 3.1), pero por un error de receta se pensó que el producto final fue demasiado amargo como para poderse extraer datos en la parte de recogida de datos mediante cata.

Se decidió repetir el experimento con dos nuevos valores de temperatura (ver experimento 4 en la Tabla 3.4), para conseguir tener datos sobre las propiedades organolépticas, aunque si fuera posible recoger datos de forma analítica.

Finalmente, con el paso del tiempo, el amargor del producto del primer experimento no se ha considerado como una limitación, por lo que el producto final del experimento 1 se ha considerado apto para la cata.

Este experimento se ha realizado con el equipo presente en la asociación AIChE. La cantidad de producto final es de aproximadamente 13 litros por producción. La nomenclatura empleada en este experimento se recoge en la tabla siguiente:

Nombre	Temperatura de macerado (°C)
T4	62
T5	69

Tabla 3.6 Temperaturas usadas en el macerado para el experimento 4

Las hipótesis planteadas para este experimento son las siguientes:

- H4.0: La temperatura de maceración no afecta las propiedades del producto final
- H4.1: La temperatura de maceración afecta las propiedades del producto final
  - H4.1.1: A mayor temperatura, menos cuerpo en el producto final
  - H4.1.2: A mayor temperatura, mayor graduación alcohólica

Las hipótesis planteadas son las mismas que en el experimento 1. Aun así, se ha separado el tratamiento de datos para los dos.

Los valores para cada uno de los parámetros medidos deberían ser diferentes, y la cuantificación del efecto de la temperatura de macerado también, debido a que se cambió tanto la receta como el equipo experimental.

### 3.3. Determinación de propiedades

#### 3.3.1. Determinación del grado alcohólico

Para conseguir este dato, se debe medir el valor de densidad del líquido tanto antes como después de la fermentación alcohólica.

Una vez terminado el proceso de hervido se puede determinar el valor de densidad del mosto mediante el uso de un refractómetro.

Para ello, basta con tomar unas gotas del mosto tras ser enfriado. No hace falta que baje la temperatura hasta la temperatura de fermentación, porque debido a la cantidad requerida para medir la densidad, su temperatura baja muy rápido en contacto con el refractómetro).

Una vez recogidas las gotas, se depositan sobre la lente del refractómetro y se observa por el visor para leer el valor de densidad. Es recomendable hacer esta medida apuntando el refractómetro a una fuente de luz para facilitar la lectura.

Para determinar el valor de densidad tras la fermentación, se emplea el método de hidrometría.

En este caso se debe tomar una muestra de aproximadamente 200 mL y colocarla en una probeta de un diámetro mayor que el densímetro, con dicho elemento dentro. Se llena la probeta hasta que el densímetro flote, y se anota la medida leída.

Una vez se conocen ambos valores, se puede proceder a calcular la graduación alcohólica.

La fórmula usada para la determinación de este valor se muestra a continuación:

$$\% \text{ alcohol (V/V)} = \frac{76,08 \cdot (OG - FG)}{1,775 - OG} \cdot \frac{FG}{0,794} \quad (\text{Eq. 3.1})^{11}$$

Donde FG es la densidad final (por sus siglas en inglés, de final gravity) y OG es la densidad anterior a la fermentación (por sus siglas en inglés, de original gravity), ambas están expresadas en kg/L.

### **3.3.2. Determinación del amargor**

Para determinar el valor de amargor en IBUs se emplea la técnica de espectrofotometría a 275 nm.

El primer paso es preparar la muestra. Se toma una muestra de cerveza de 10 mL. Se mezcla con una solución formada por 20 mL de isooctano y 1 mL de ácido clorhídrico.

El agua y el isooctano no son miscibles, por lo que aparecen dos fracciones en la mezcla. Mediante la adición del ácido, se consigue que la isohumulona queden disueltas en la fracción del isooctano.<sup>12</sup>

Tras 15 minutos, se pipetea una muestra de unos 3 mL de la fracción superior y se coloca en la cubeta del espectrofotómetro. Se hace pasar un haz de luz a 275 nm y se mide la absorbancia la isohumulona.

A continuación, se emplea la siguiente ecuación para cuantificar el amargor en IBUs:

$$\text{Amargor (IBU)} = 50 \cdot A_{275} \quad (\text{Eq. 3.2})^{13}$$

### **3.3.3. Cata**

Uno de los experimentos más significativos es el de la cata. Estos datos son los más importantes, ya que reflejan la percepción organoléptica del consumidor.

Se ha construido una hoja de cata para determinar las percepciones organolépticas medias de cada una de las cervezas (Tabla 3.7).

		T62A	T67	T72	SL	L0	DH	L60	A0	A70	A140	T62B	T69
<b>V I S U A L</b>	<b>Color</b> 1. Amarillo, 2. Dorado, 3. Caramelo, 4. Rojizo, 5. Negro												
	<b>Transparencia</b> 1. Cristalina, 2. Poco transparente, 3. Turbia, 4. Semi opaca, 5. Opaca												
	<b>Vivacidad</b> 1. Casi sin gas, 2. Poca, 3. Equilibrada, 4. Abundante, 5. Gran cantidad de gas												
	<b>Consistencia espuma</b> 1. Liger, 2. Poco densa, 3. Espesa, 4. Cremosa, 5. Compacta												
	<b>Persistencia espuma</b> 1. Sin, 2. Poco, 3. Persistente, 4. Muy persistente, 5. No desaparece												
	<b>Color espuma</b> 1. Blanco, 2. Ligeramente morena, 3. Morena, 4. Rojiza, 5. Caramelo												
	<b>O L F A T O</b>												
	<b>Aroma de la malta</b>												
	<b>Aroma del lúpulo</b>												
	<b>Aroma del fermento</b>												
<b>G U S T O</b>	<b>Aroma a alcohol</b>												
	<b>Gusto a malta</b>												
	<b>Gusto a lúpulo</b>												
	<b>Gusto a fermento</b>												
	<b>Gusto a alcohol</b>												
	<b>Amargor</b>												
	<b>Astringencia</b>												
	<b>Retrogusto</b>												
<b>VALORACIÓN GENERAL</b>													

Tabla 3.7 Hoja de cata utilizada para el proyecto. En los ítems sin sistema de puntuación se aplica el siguiente: 1. Inapreciable, 2. Suave, 3. Fuerte, 4. Intenso, 5. Muy intenso. En el caso de valoración general la escala es de 0 a 10.

Se ha reunido un grupo de personas y se les ha dado una pequeña cantidad de cada una de las 12 cervezas elaboradas durante este proyecto. Para cada una, se ha pedido realizar un examen visual, un examen olfativo y un examen de gusto.

### 3.3.4. Control de calidad

A continuación, se exponen los métodos empleados en el control de calidad realizado en el proyecto.

#### 3.3.4.1. pH mediante potenciometría

Para que la cerveza pueda ser consumida, es necesario que su pH sea inferior o igual a 5,5.<sup>10</sup>

Para realizar este estudio se ha usado un pH-ímetro que funciona mediante conductimetría.

Se ha tomado una muestra de unos 30 mL de cerveza en un vaso de precipitados de 50 mL. Posteriormente, se introduce el electrodo del pH-ímetro y se espera a que el valor de pH indicado en la pantalla del aparato se estabilice.

### **3.3.4.2. Determinación del color**

Para la determinación del color se debe filtrar la cerveza en caso de ser turbia, y se realiza la medida de absorbancia a 430 nm. El valor del color se expresa en grados EBC y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Color (EBC) = 25 \cdot A_{430} \quad (Eq. 3.3)^{14}$$

Se realiza cada medida por triplicado.

### **3.3.4.3. Control microbiológico**

Para la realización de este método analítico se han tomado dos muestras de unos pocos mL cada una por cada producción, siendo la primera tomada en el momento del inicio de la primera fermentación (tras la inoculación de la levadura) y la segunda una vez terminada la fermentación (tras dos semanas, aproximadamente). Las muestras se mantienen a 4 °C hasta su análisis.

Para el cultivo se utilizan placas Petri de Saboraud agar dextrosa, cuyos componentes y propiedades para L son:

- 40 g de glucosa
- 10 g de peptona
- 15 g de agar
- pH de  $5,6 \pm 0,2$  regulado con HCl

Una vez enrasada la mezcla a 1 L se autoclava a 120 °C durante 15 min para esterilizarla (Figura 3.1 A).<sup>15</sup>

Tras este paso, se dispensa la solución en las placas de Petri hasta que se solidifica el medio. Entonces, se coge una pequeña muestra con un asa de Kolle y se dispersa mediante la técnica de la siembra en escocés (Figura 3.1 B).

A continuación, las placas se incuban en una estufa a 30 °C durante 24 h (Figura 3.1 C).

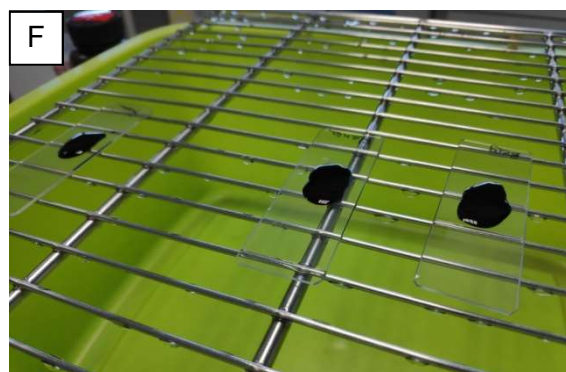
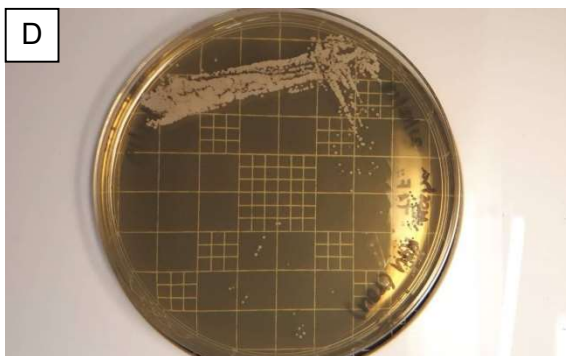
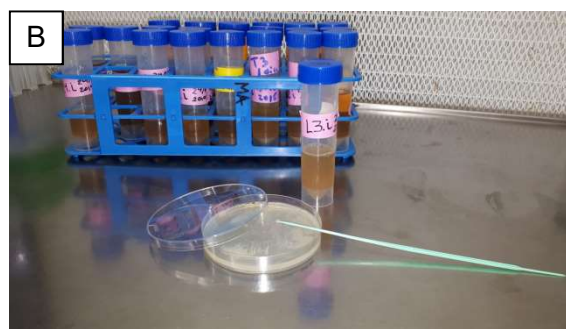
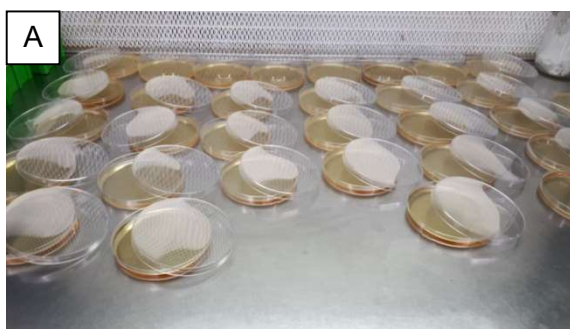
Para el análisis de los microorganismos se seleccionan colonias de diferente morfología para su tinción (en la Figura 3.1 D se puede observar una colonia de levaduras). Las colonias formadas por levaduras se tiñen por tinción simple con azul de metileno, mientras que las colonias formadas por bacterias se tiñen por tinción diferencial de Gram.<sup>16</sup>

Antes de realizar cualquiera de dichos métodos de tinción se coge una muestra de cada una de las colonias (Figura 3.1 E) y se fija mediante aplicación de calor con un mechero bunsen.

Para llevar a cabo el método de tinción simple, se vierte azul de metileno sobre el portaobjetos que contienen una muestra fijada del cultivo a analizar (Figura 3.1 F). Tras esperar un minuto, se procede a limpiar dicho portaobjetos con agua destilada.

En el caso de la tinción diferencial de Gram se vierte el tinte cristal violeta sobre el portaobjetos objeto de tinción. Tras un minuto se limpia con agua desionizada. A continuación, se vierte lugol sobre el portaobjetos. Tras otro minuto de espera, se limpia con agua y se decolora con etanol. Por último, se le añade safranina alcohólica, de color rojo, y se limpia de nuevo con agua tras una espera de tres minutos.

Tras la realización de estos métodos se procede a observar las muestras bajo microscopio. En las Figuras 3.1 G y 3.1 H se pueden observar dos tipos de microorganismos diferentes, observados a 1000 aumentos con un microscopio óptico.



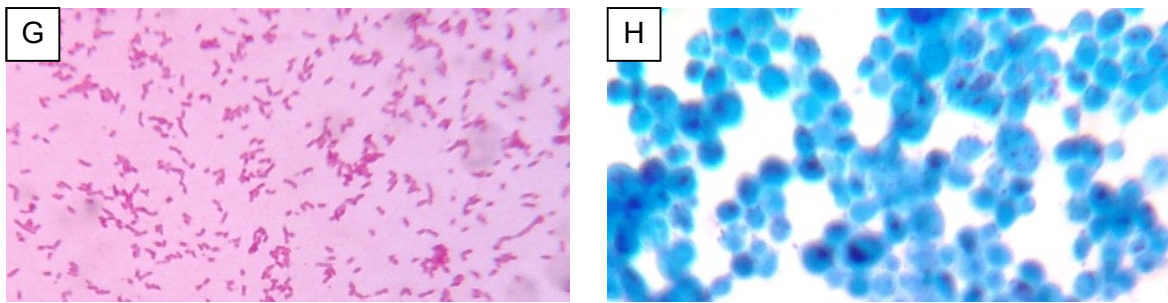


Figura 3.1 Control microbiológico. De izquierda a derecha y de arriba a abajo. A: Preparación y dispensación del medio de cultivo. B: siembra de las muestras empleando la técnica de siembra en escocés. C: Incubación en estufa de placa. D: cultivo en placa tras 24 h de incubación. E: Preparación de frotis para la tinción. F: tinción. G y H: colonias teñidas observadas con microscopio óptico a 1000 aumentos.



## 4. Resultados

Para llevar a cabo el análisis del producto final se han utilizado las técnicas anteriormente descritas. En este apartado, se describen y discuten los resultados obtenidos.

### 4.1. Graduación alcohólica

Los resultados obtenidos en cuanto a graduación alcohólica se recogen en la siguiente tabla:

Producción	T62A	T67	T72	SL	L0	DH
Densidad inicial (g/L)	1048	1045	1046	1048	1045	1044
Densidad final (g/L)	1020	1009	1006	1006	1005	1004
Alcohol (% v/v)	3,76	4,77	5,29	5,26	5,00	4,99

Producción	L60	A0	A70	A140	T62B	T69
Densidad inicial (g/L)	1045	1049	1047	1049	1052	1053
Densidad final (g/L)	1004	1010	1010	1010	1017	1005
Alcohol (% v/v)	5,11	4,93	4,68	4,93	4,72	5,98

Tabla 4.1 Medida de densidad inicial y final de las producciones. Ambos aparatos de medida tienen un error de 0,01 g/L

A continuación, se muestran los valores obtenidos en relación con los tres parámetros estudiados a lo largo del proyecto:

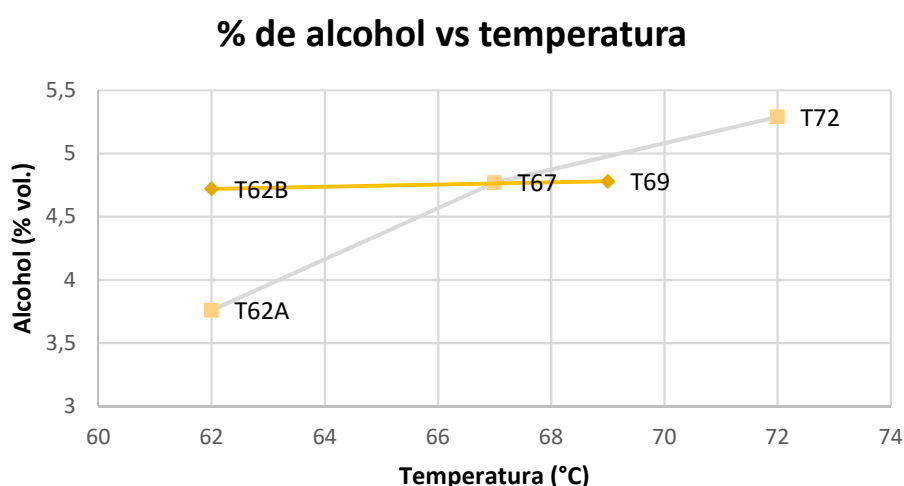


Figura 4.1 Representación gráfica del porcentaje de alcohol en la cerveza respecto a la temperatura de maceración del proceso de producción. Se han representado los experimentos 1 (gris) y 4 (naranja) en el mismo gráfico.

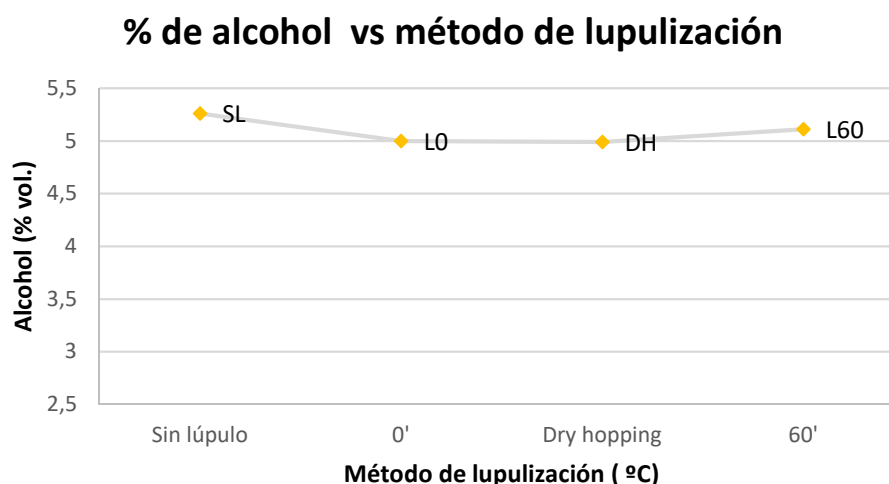


Figura 4.2 Representación gráfica del porcentaje de alcohol en la cerveza respecto al método de lupulización empleado durante el proceso de producción.

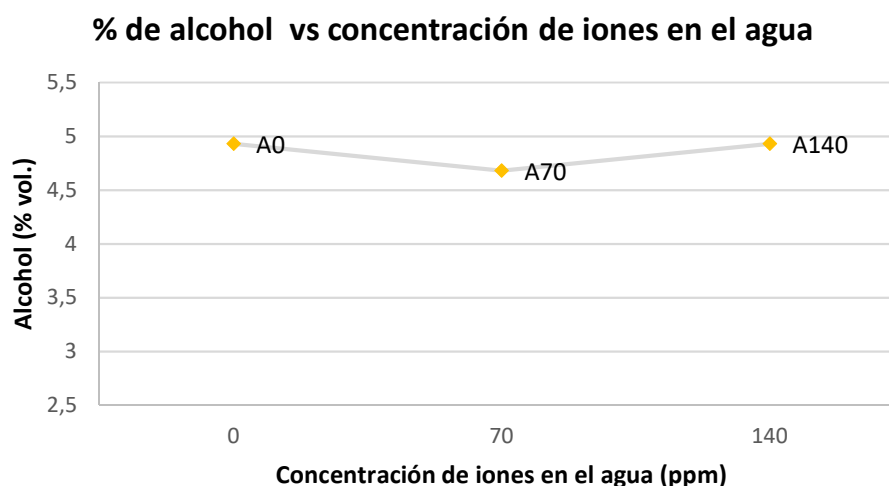


Figura 4.3 Representación gráfica del porcentaje de alcohol en la cerveza respecto la cantidad de sales presentes en el agua usada en el proceso de producción. El valor de concentración se refiere a los iones de  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ , ya que la concentración de  $Ca^{2+}$  es ligeramente inferior (ver Tabla 3.3)

Observando el gráfico 4.1 no se puede descartar que haya interacción entre la temperatura de macerado y la graduación alcohólica. Teniendo en cuenta que tanto en el experimento 1 como en el 2 la graduación alcohólica aumenta con la temperatura de macerado, se han considerado válidas las hipótesis H1.1.2 y H4.1.2 y se rechazan las hipótesis H1.0 y H4.0.

En cuanto a los experimentos 2 y 3 se considera que no hay evidencias significativas para decir que el método de lupulización o la cantidad de sales presentes en el agua de proceso

afectan al grado alcohólico del producto final. Por tanto, no se puede considerar válida la hipótesis H3.1.1. En el caso del experimento 2 no se planteó una interacción entre ambos parámetros.

## **4.2. Determinación del amargor**

Tras la realización de la técnica de espectrofotometría se ha determinado que los resultados obtenidos no son concluyentes. El análisis de datos se ha realizado poco antes de la entrega del presente proyecto y no se ha podido repetir el experimento.

Se entiende que hubo un fallo en el desarrollo del método experimental. Queda como trabajo a realizar la identificación del problema y la edición del método.

Se considera que no hay evidencias suficientes para poder afirmar o desmentir ninguna de las hipótesis planteadas en este proyecto basándose en el método analítico de la espectrofotometría.

## **4.3. Cata**

Tras realizar la cata con 9 personas, se ha calculado la media de los valores de cada ítem de la ficha, siendo el resultado recogido en las Tablas 4.2 y 4.3.

		T62A	T67	T72	T62B	T69
V I S U A L	Color	2,0 ± 0,0	3,4 ± 0,5	2,4 ± 0,8	2,5 ± 0,7	3,4 ± 0,8
	Transparencia	3,1 ± 0,6	3,1 ± 1,1	1,7 ± 0,4	2,6 ± 1,1	2,5 ± 0,8
	Vivacidad	3,0 ± 0,7	3,7 ± 1,0	2,7 ± 0,9	3,0 ± 1,0	2,3 ± 0,7
	Consistencia espuma	1,7 ± 0,6	2,4 ± 0,7	3,1 ± 0,3	2,0 ± 0,5	1,8 ± 0,6
	Persistencia espuma	1,8 ± 0,6	3,6 ± 0,5	3,3 ± 0,5	2,8 ± 1,3	2,0 ± 0,0
	Color espuma	1,1 ± 0,3	1,3 ± 0,5	1,6 ± 0,5	1,1 ± 0,3	1,6 ± 0,4
O L F A T O	Aroma de la malta	2,4 ± 0,7	2,0 ± 0,7	2,4 ± 0,5	2,4 ± 0,5	2,2 ± 0,6
	Aroma del lúpulo	3,2 ± 0,6	2,4 ± 0,8	3,1 ± 0,9	2,3 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	Aroma del fermento	2,1 ± 0,7	2,0 ± 0,7	1,8 ± 0,3	2,1 ± 0,6	2,2 ± 0,4
	Aroma a alcohol	2,1 ± 0,9	1,5 ± 0,5	1,6 ± 0,7	1,8 ± 0,6	2,0 ± 0,5
G U S T O	Gusto a malta	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,3 ± 0,5	2,6 ± 0,7	2,3 ± 0,5
	Gusto a lúpulo	2,8 ± 0,7	3,0 ± 1,1	3,2 ± 0,6	2,4 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	Gusto a fermento	2,5 ± 0,8	2,2 ± 0,7	2,3 ± 0,8	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,6
	Gusto a alcohol	2,1 ± 0,6	2,2 ± 0,4	2,0 ± 0,7	1,6 ± 0,7	1,7 ± 0,8
	Amargor	4,0 ± 0,7	4,4 ± 0,7	4,2 ± 0,6	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,6
	Astringencia	3,3 ± 1,0	3,1 ± 1,0	3,0 ± 1,0	1,8 ± 0,6	2,0 ± 0,5
	Retrogusto	2,8 ± 0,9	4,0 ± 0,5	3,4 ± 0,8	2,3 ± 0,5	1,8 ± 1,0
	Cuerpo de la cerveza	2,6 ± 0,8	1,8 ± 0,6	1,4 ± 0,5	3,2 ± 0,6	2,2 ± 0,4
VALORACIÓN GENERAL		6,1 ± 0,7	4,8 ± 0,6	5,0 ± 0,7	6,6 ± 1,1	6,8 ± 1,1

Tabla 4.2 Resultados de la cata para los experimentos 1 y 4. Se muestra el valor promedio junto con la desviación estándar.

		SL	LO	DH	L60	A0	A70	A140
V I S U A L	Color	2,7 ± 0,9	2,3 ± 1,0	2,6 ± 1,0	2,4 ± 0,8	3,2 ± 0,4	3,1 ± 0,3	3,5 ± 0,5
	Transparencia	2,4 ± 1,1	1,6 ± 0,5	2,6 ± 0,5	1,7 ± 0,4	2,3 ± 0,5	2,3 ± 0,5	2,3 ± 0,8
	Vivacidad	1,3 ± 0,5	3,1 ± 0,6	2,0 ± 0,8	2,7 ± 0,9	3,0 ± 0,7	2,4 ± 0,7	3,7 ± 0,6
	Consistencia espuma	1,0 ± 0,0	3,2 ± 0,6	1,3 ± 0,5	3,1 ± 0,3	2,7 ± 0,9	2,6 ± 0,5	3,1 ± 0,6
	Persistencia espuma	1,0 ± 0,0	2,7 ± 0,6	1,4 ± 0,5	3,3 ± 0,5	2,7 ± 0,9	2,5 ± 1,0	3,2 ± 0,6
	Color espuma	1,7 ± 1,3	1,6 ± 0,5	1,2 ± 0,4	1,6 ± 0,5	2,2 ± 0,8	2,1 ± 0,3	2,1 ± 0,3
O L F A T O	Aroma de la malta	1,5 ± 0,7	2,0 ± 0,7	2,0 ± 0,7	2,4 ± 0,5	2,2 ± 0,4	2,4 ± 0,5	2,6 ± 0,5
	Aroma del lúpulo	1,2 ± 0,4	4,0 ± 0,5	2,3 ± 0,5	3,1 ± 0,9	3,6 ± 0,5	3,1 ± 0,7	3,3 ± 0,8
	Aroma del fermento	2,6 ± 1,5	1,7 ± 0,4	2,1 ± 0,9	1,8 ± 0,3	2,3 ± 0,8	2,0 ± 0,5	2,0 ± 0,5
	Aroma a alcohol	2,2 ± 1,3	1,4 ± 0,5	1,5 ± 0,7	1,6 ± 0,7	2,2 ± 0,4	2,1 ± 0,6	2,0 ± 0,5
G U S T O	Gusto a malta	1,6 ± 0,8	3,0 ± 0,8	1,7 ± 0,4	2,3 ± 0,5	2,4 ± 0,8	2,8 ± 1,0	2,7 ± 0,8
	Gusto a lúpulo	1,4 ± 1,0	3,0 ± 1,2	2,6 ± 0,5	3,2 ± 0,6	3,0 ± 0,5	2,6 ± 1,0	3,0 ± 1,2
	Gusto a fermento	3,2 ± 1,5	2,3 ± 1,0	2,3 ± 1,1	2,3 ± 0,8	2,1 ± 0,7	2,0 ± 0,5	2,3 ± 0,8
	Gusto a alcohol	1,7 ± 0,9	1,7 ± 0,6	1,5 ± 0,7	2,0 ± 0,7	2,3 ± 0,7	2,3 ± 0,5	2,3 ± 0,7
	Amargor	2,5 ± 1,5	2,0 ± 1,0	2,2 ± 1,0	4,2 ± 0,6	3,2 ± 0,4	2,6 ± 0,8	3,6 ± 0,5
	Astringencia	3,8 ± 1,3	2,1 ± 1,1	2,6 ± 1,0	3,0 ± 1,0	2,8 ± 0,9	2,0 ± 0,5	2,6 ± 0,8
	Retrogusto	3,4 ± 0,5	2,1 ± 1,0	2,6 ± 0,7	3,4 ± 0,8	2,6 ± 0,8	2,4 ± 0,8	3,1 ± 0,9
	Cuerpo de la cerveza	1,7 ± 0,4	3,1 ± 0,6	2,7 ± 0,6	1,4 ± 0,5	2,6 ± 0,7	2,2 ± 0,4	2,4 ± 0,8
VALORACIÓN GENERAL		3,6 ± 2,1	7,0 ± 0,8	5,3 ± 1,4	6,6 ± 0,9	6,1 ± 0,9	6,5 ± 1	6,3 ± 0,4

Tabla 4.3 Resultados de la cata para los experimentos 2 y 3. Se muestra el valor promedio junto con la desviación estándar.

En las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se han representado gráficamente los datos de percepción visual, olfativa y gustativa, respectivamente.

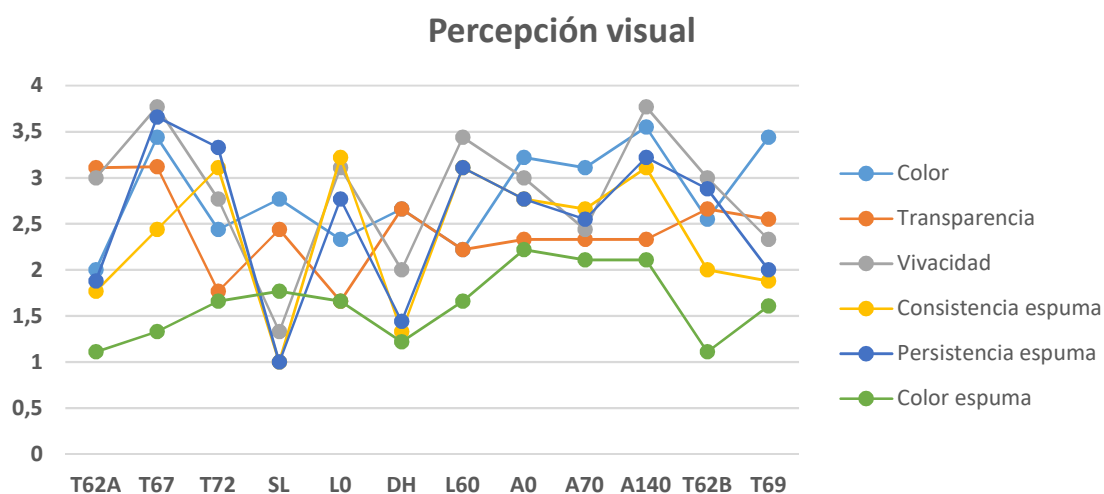


Figura 4.4 Representación visual de los datos de percepción visual obtenidos en la cata respecto las producciones realizadas.

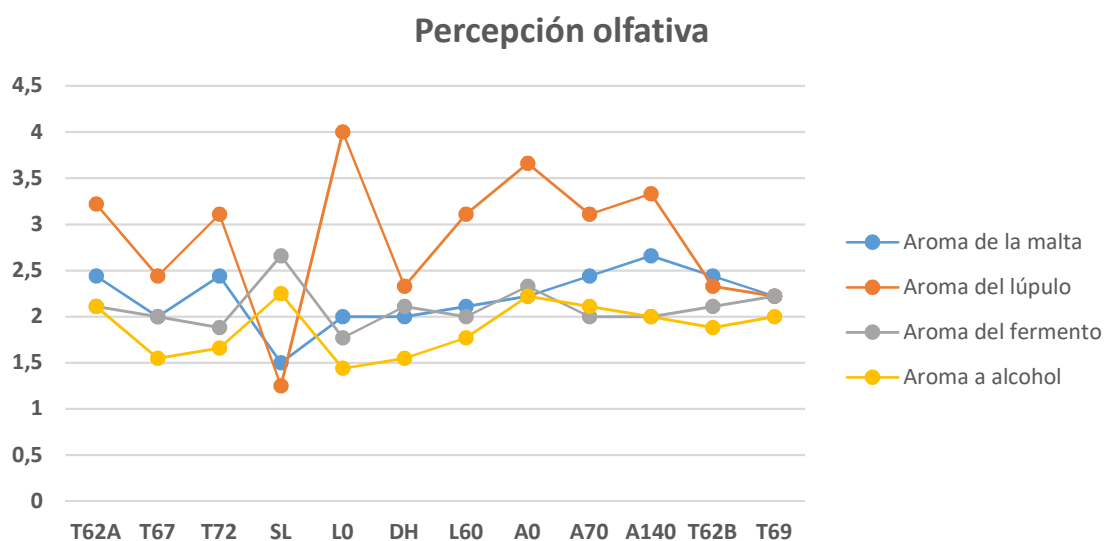


Figura 4.5 Representación visual de los datos de percepción olfativa obtenidos en la cata respecto las producciones realizadas.

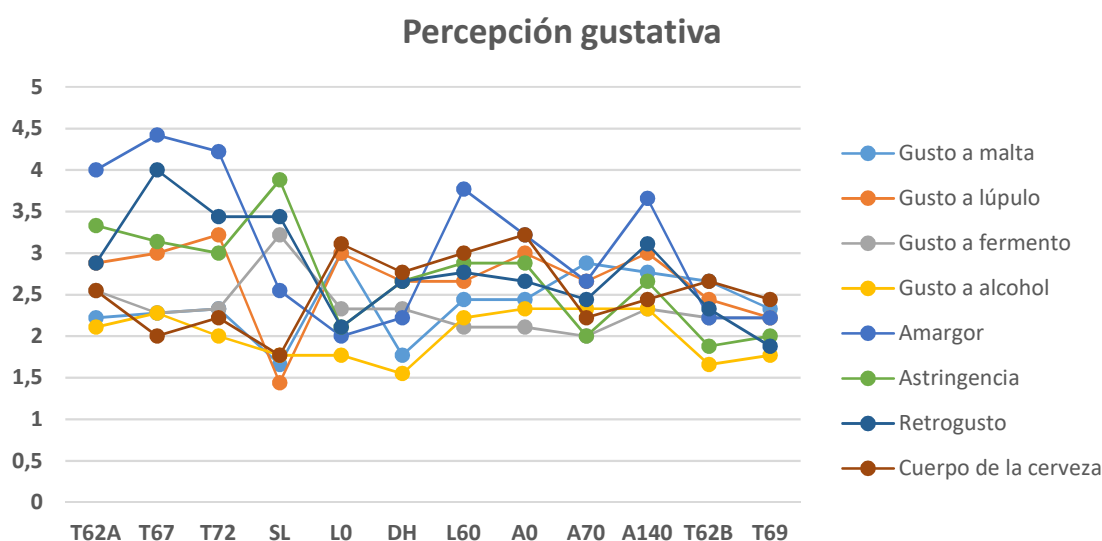


Figura 4.6 Representación visual de los datos de percepción gustativa obtenidos en la cata respecto las producciones realizadas.

En este apartado se mostrarán los gráficos necesarios para validar las hipótesis planteadas en el apartado 3.

En la Figura 4.7 muestra la representación gráfica de la percepción del amargor respecto a la temperatura de macerado de cada una de las producciones de los experimentos 1 y 4. Se puede observar una clara tendencia a la disminución del cuerpo de la cerveza con la temperatura de macerado. Por tanto, se considera que hay evidencias significativas para rechazar las hipótesis H1.0 y H4.0 y dar como válidas las hipótesis H1.1.1 y H4.1.1.

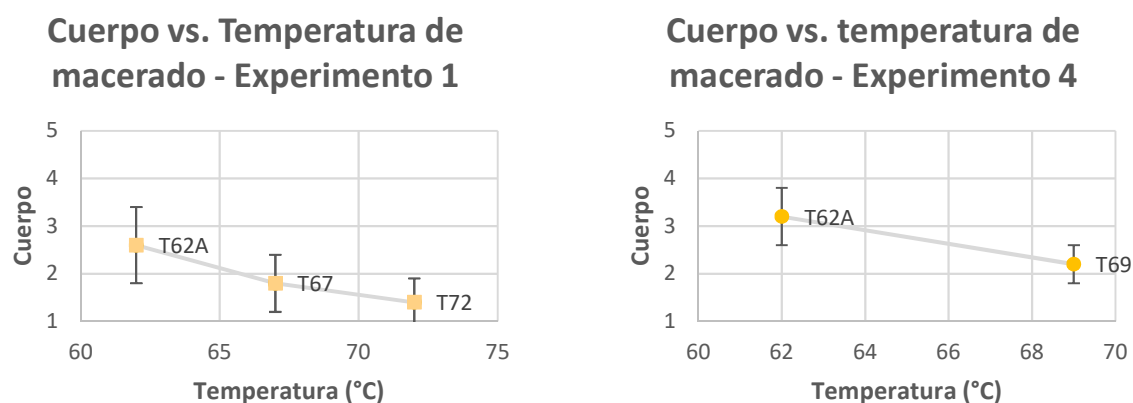


Figura 4.7 Representaciones gráficas de la media de la percepción del cuerpo de la cerveza respecto la temperatura de macerado en los experimentos 1 y 4.

En la figura 4.8 se muestra la representación gráfica del cuerpo respecto a la cantidad de iones presentes en el agua usada durante el proceso productivo. No se advierte ninguna relación entre estas cantidades y la percepción del cuerpo en la cata. Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis H3.0 ni aceptar la hipótesis H3.1.2.

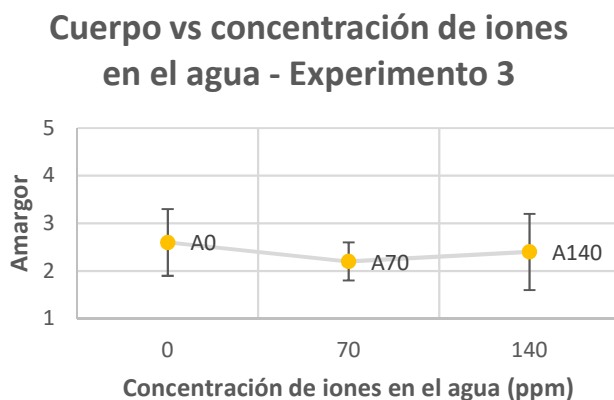


Figura 4.8 Representación gráfica del cuerpo respecto la concentración de iones en el agua usada. El valor de concentración se refiere a los iones de  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ , ya que la concentración de  $Ca^{2+}$  es ligeramente inferior (ver tabla 3.3)

En la Figura 4.9 se puede ver la percepción del amargor respecto al método de lupulización. Debido a la acidez de las producciones 1 y 3 se ha decidido no tener en cuenta estas producciones en la cata, ya que este sabor no permitía diferenciar el resto de las propiedades organolépticas de las cervezas.

A la vista del gráfico se considera que hay evidencias suficientes para decir que el tiempo de hervido del lúpulo afecta al amargor del producto final, dando por válida la hipótesis H2.1.1 y coincidiendo con el apartado de análisis por espectrofotometría.

En cuanto al aroma a lúpulo, se observa una tendencia que indica que, a mayor tiempo de hervido de lúpulo, menor aroma a éste tendrá el producto acabado. Se considera que hay evidencias suficientes para considerar la hipótesis H2.1.2 como válida.

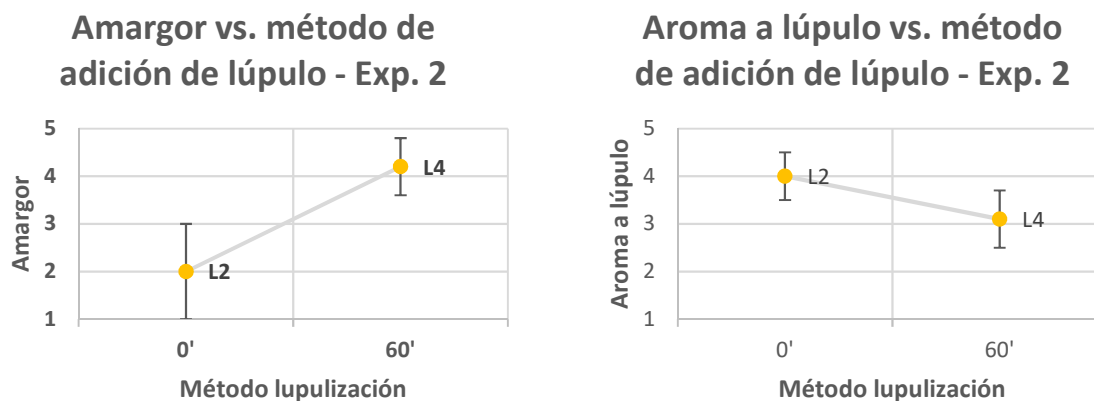


Figura 4.9 Representaciones gráficas del amargor y el aroma a lúpulo respecto al método de lupulización.

Es necesario mencionar que se excluyen de este estudio organoléptico las muestras SL y DH ya que su acidez no permitió valorar correctamente otros aspectos del producto como son el aroma o el amargor.

## 4.4. Control de calidad

En este apartado se muestran los resultados obtenidos con los métodos de control de calidad previamente descritos.

### 4.4.1. Medida de pH

Se ha medido el pH de cada producto terminado para garantizar que se cumple uno de los requisitos de consumo dictados por el Boletín Oficial del estado.<sup>13</sup>

Para poder considerar una cerveza como apta para consumo humano, su pH debe ser igual o inferior a 5,5.

En la Tabla 4.4 se exponen los pH medidos para las producciones realizadas.

En la Figura 4.10 se han graficado los valores de pH respecto a las producciones realizadas.



Producción	T62A	T67	T72	SL
pH	4,37	4,31	4,51	3,31
Producción	L0	DH	L60	A0
pH	4,35	3,74	4,44	4,31
Producción	A70	A140	T62B	T69
pH	4,26	4,22	4,56	4,47

Tabla 4.4 Valores de pH del producto acabado de cada una de las producciones. El error de medida es de 0,01 en cada caso

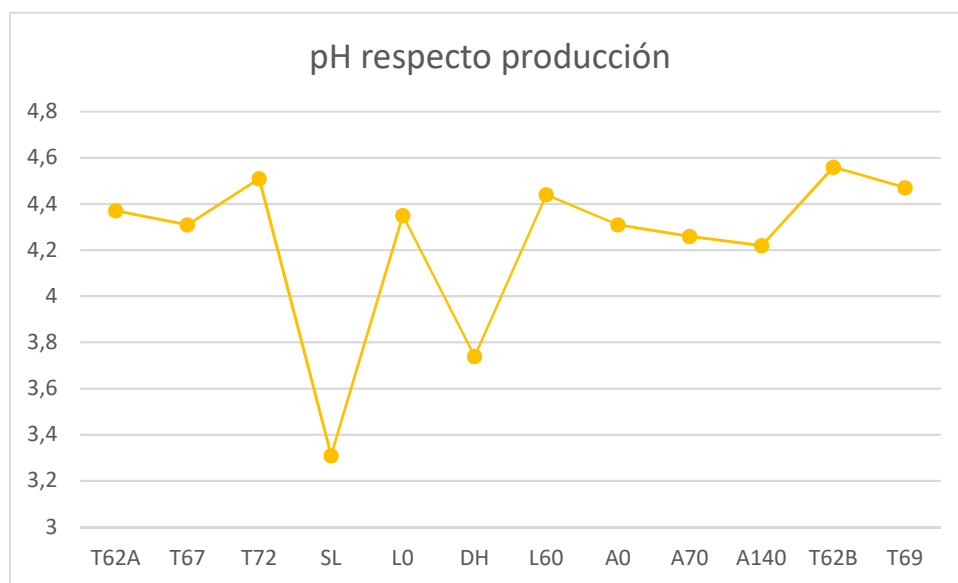


Figura 4.10 Representación gráfica del pH medido en el producto final

Se puede observar que todas las producciones cumplen con la legislación vigente, que marca que el máximo valor de pH admisible en la cerveza es de 5,5.

Se observa cómo hay dos producciones con un pH anormalmente bajo, SL y DH, que coinciden con las producciones en las que no se ha usado lúpulo en el proceso de hervido.

#### 4.4.2. Control microbiológico

En los diferentes cultivos realizados se han detectado tres tipos diferentes de colonia. Por un lado, aparecieron unas colonias blancas cremosas y circulares, por otro lado, aparecieron unas colonias muy parecidas a las anteriores en cuanto a morfología pero con un color beige. Finalmente, en algunos casos, se han detectado unas colonias mucosas y de color beige con cierta tendencia a dispersarse dentro de la placa, invadiendo otras colonias.

A continuación, en la Tabla 4.5 se detallan los diferentes tipos de colonias detectados para cada producción:

<b>Código</b>	<b>Muestra</b>	<b>Fecha</b>	<b>Resultado</b>
<b>T62A</b>	Inicial	13/12/2018	Blancas y beige
<b>T62A</b>	Final	21/12/2018	Beige
<b>T67</b>	Inicial	15/12/2018	Blancas y beige
<b>T67</b>	Final	30/12/2018	Blancas y beige
<b>T72</b>	Inicial	12/12/2018	Blancas y beige
<b>T72</b>	Final	30/12/2018	Blancas y beige
<b>SL</b>	Inicial	24/01/2019	Blancas, beige y mocosas
<b>SL</b>	Final	11/02/2019	Blancas, beige y mocosas
<b>L0</b>	Inicial	24/01/2019	Blancas, beige y mocosas
<b>L0</b>	Final	11/02/2019	Mayoritariamente beige y algunas blancas
<b>DH</b>	Inicial	24/01/2019	Blancas y beige
<b>DH</b>	Final	11/02/2019	Mayoritariamente blancas y algunas beige
<b>L60</b>	Inicial	24/01/2019	Mayoritariamente colonias mocosas
<b>L60</b>	Final	11/02/2019	Mayoritariamente beige y algunas blancas
<b>A0</b>	Inicial	26/02/2019	Mayoritariamente beige y algunas blancas
<b>A0</b>	Final	13/03/2019	Ausencia de colonias
<b>A70</b>	Inicial	26/02/2019	Beige
<b>A70</b>	Final	13/03/2019	Blancas, beige y mocosas
<b>A140</b>	Inicial	26/02/2019	Blancas y beige
<b>A140</b>	Final	13/03/2019	Mayoritariamente beige y algunas blancas

Tabla 4.5 Identificación óptica de las colonias presentes en los cultivos realizados a partir de muestras tomadas durante el proceso productivo.

A continuación, se muestran unas imágenes a modo de ejemplo de cada uno de los tres tipos de colonia identificados.

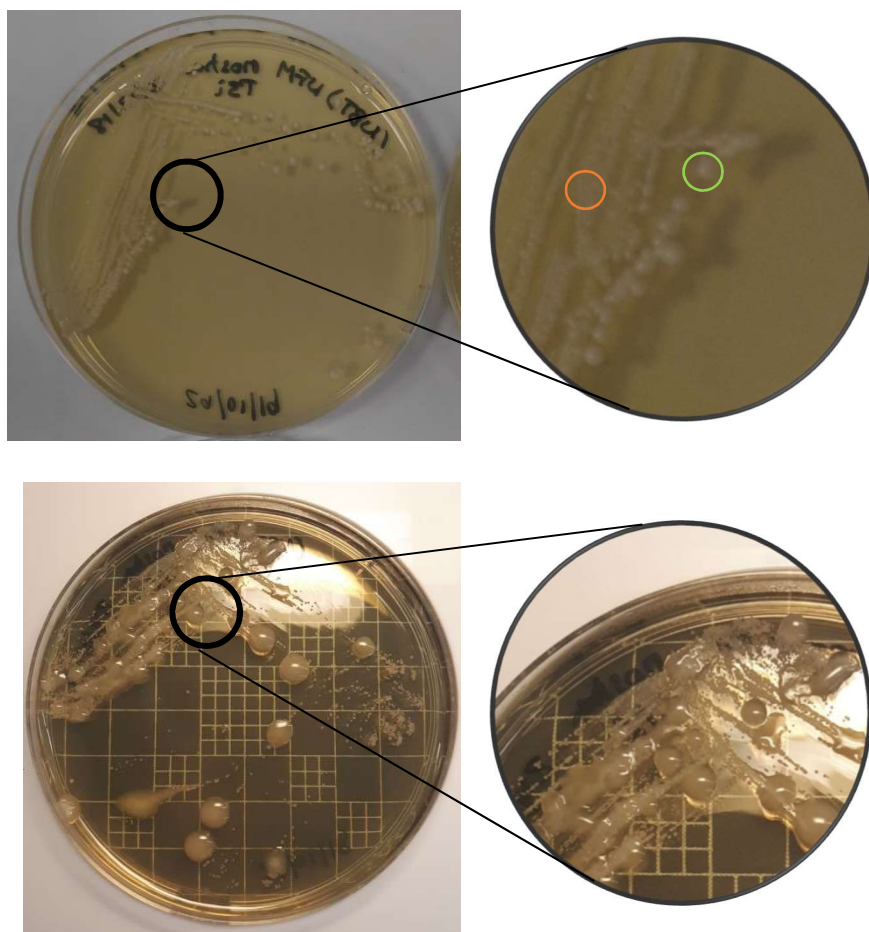


Figura 4.11 Fotografía de cultivo microbiológico para identificación de colonias. A: Cultivo de la producción T72 (muestra inicial). En la ampliación se puede observar la presencia de dos tipos de colonia, aunque la calidad de la foto dificulta su percepción. En círculo naranja se reconoce una colonia beige y en el círculo verde, una blanca. B: Cultivo de la producción SL (muestra inicial). En la ampliación se puede apreciar con claridad la presencia de colonias mucosas.

Una vez realizado el estudio de la presencia de los diferentes tipos de cultivo, se procede a determinar qué microorganismo es el que los compone. Para ello se han empleado dos métodos de tinción.

En el caso de las colonias beige y blancas se ha logrado identificar las colonias mediante tinción simple con azul de metileno.

En el caso de las colonias mucosas se ha logrado esta tinción mediante el método de tinción diferencial de gran.

Una vez realizadas dichas tinciones, se procede a observar cada colonia en microscopio óptico.

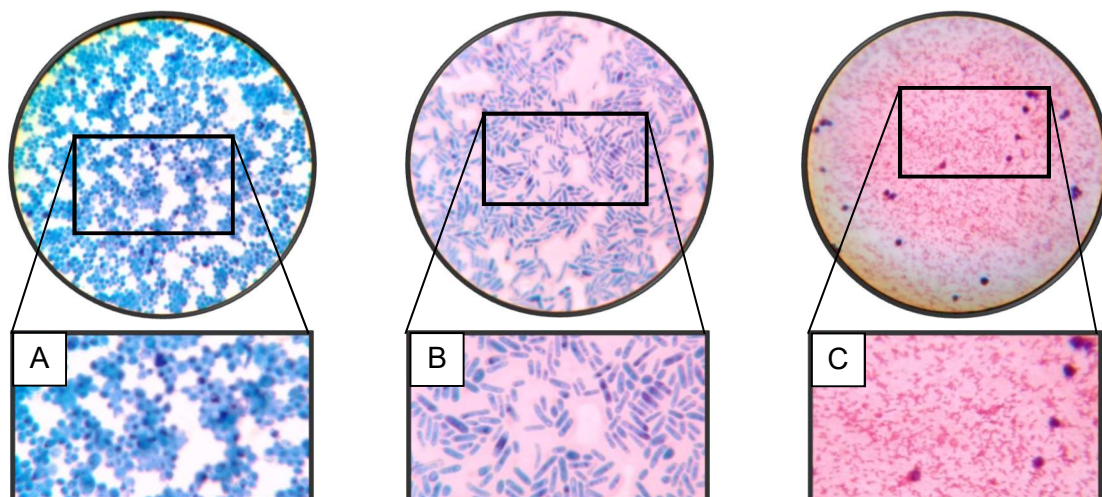


Figura 4.12 Imágenes tomadas de microscopía óptica a 1000 aumentos. A: observación de la muestra de una colonia de color blanco. B: Observación de la de la muestra de una colonia de color beige. C: observación de la muestra de una colonia mucosa.

Se ha determinado mediante examen óptico los diferentes microorganismos presentes en las producciones realizadas:

- Colonias blancas: *Sacharomices cerevisae*
- Colonias beige: género *Brettanomyces*
- Colonias mucosas: bacteria (bacilo) Gram positivo

No se ha considerado necesario determinar el tipo de bacteria encontrado.

Se observa que las producciones en las que se han mantenido las colonias bacterianas son la SL y la DH, coincidiendo así con los productos finales de pH más bajo.

Este resultado parece indicar que la presencia de lúpulo en el proceso de hervido afecta al crecimiento de este tipo de colonias.

No se ha llevado a cabo el control microbiológico de las muestras T62B y T69 debido a que su proceso de fermentación terminó poco tiempo antes de la entrega del proyecto. Aun así, se espera que no contengan colonias bacterianas.

#### 4.4.3. Color

Tras realizar el estudio del color se obtienen los siguientes resultados:

Producción	T62A	T67	T72	SL	L0
Color (EBC)	29,25 ± 2,1	30,1 ± 1,6	26,33 ± 2,48	22,7 ± 2,6	21,7 ± 2,13
Producción	DH	L60	A0	A70	A140
Color (EBC)	19,84 ± 2,06	21,07 ± 1,33	36,27 ± 2,18	37,84 ± 1,67	38,85 ± 1,89

Tabla 4.6 Datos cuantitativos del color de las producciones.

No aparecen los datos de color de las producciones realizadas en el experimento 4 debido a que si fermentación terminó poco antes de la entrega del proyecto y no fue analizada en laboratorio.

En la Figura 4.13 se muestran graficados los datos del color para los tres primeros experimentos. No se ha detectado ningún punto anómalo a tener en cuenta. Las diferencias en las medias de los valores entre experimentos son probablemente debidas al uso de diferentes recetas.

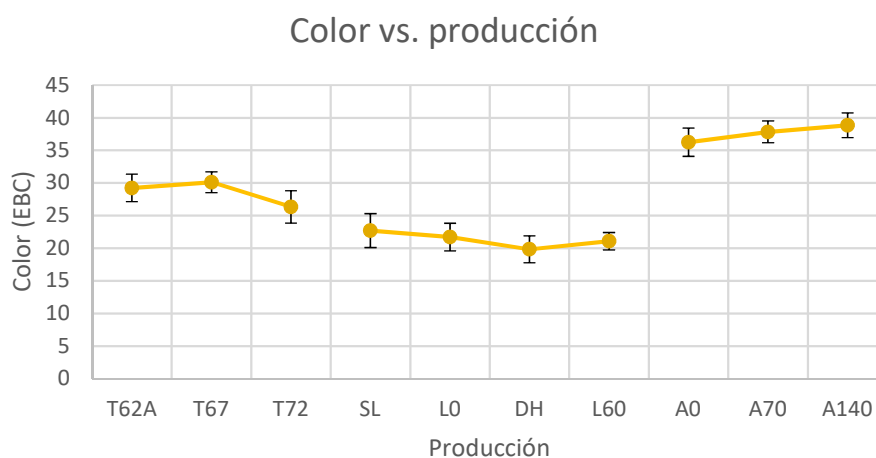


Figura 4.13 Representación gráfica del color respecto a la producción

## 5. Análisis del impacto ambiental

Los reactivos usados en la realización del presente proyecto no se consideran nocivos para el medio ambiente. No obstante, pueden hacerse ciertos cálculos en cuanto al uso de materiales consumibles y gasto de materias primas.

En la Tabla 5.1 se recoge el consumo aproximado de materias primas y de limpieza usado en el presente proyecto:

Material	Cantidad	Unidad
Malta	20	kg
Agua	120	L
Lúpulo	320	g
Levadura	58	g
Agua de limpieza	240	L
Desinfectante	300	mL

Figura 5.1 Consumo de materias primas durante la realización del proyecto

## Conclusiones

Tras el estudio experimental realizado durante este proyecto se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Según los resultados obtenidos, se considera que existen evidencias suficientes para aceptar las hipótesis que afirman que a mayor temperatura de macerado hay menor cuerpo en la cerveza y un mayor grado alcohólico.

También hay una clara afectación de las propiedades organolépticas de la cerveza dependiendo del método de lupulización que se ha empleado. Se considera que hay evidencias significativas para decir que a mayor tiempo de hervido de lúpulo se aporta más amargor a la cerveza y menos aroma.

No se ha podido llegar a valorar las hipótesis en el caso de producciones donde no se emplea lúpulo en el proceso de hervido. Este hecho parece permitir el crecimiento de colonias bacterianas que acidifican la cerveza haciendo difícil su análisis organoléptico. Aunque no se haya realizado un estudio firme durante este proyecto, se cree que alguna sustancia presente en el lúpulo y extraída durante el hervido inhibe el crecimiento de dichas colonias.

En el caso de las propiedades del agua empleada en el proceso, no se han obtenido evidencias suficientes para poder descartar que este parámetro no afecte sobre las propiedades del producto final. No obstante, se entiende que el rango de minerales en el agua empleada podría haber sido más amplio.

Se ha logrado emplear las técnicas de medición de densidad, pH-metría y cultivo microbiológico para el desarrollo de este proyecto, y se ha logrado escribir una guía para futuros estudiantes que deseen plantear otros proyectos experimentales.

No se ha conseguido llevar a cabo de forma exitosa el método analítico de espectrofotometría para la determinación cuantitativa del amargor.

Se ha logrado con éxito construir un equipo productivo con una capacidad de aproximadamente 3,5 litros de producto final por producción.

## 6. Trabajo futuro

Durante el desarrollo del proyecto he visto que el alcance del mismo puede ser superior mediante la realización de futuros proyectos. Mis propuestas para futuros estudios son:

- Rediseño del método experimental para determinación del amargor
- Empleo de otras técnicas analíticas como cromatografía de capa fina
- Experimentación con otros parámetros o rangos:
  - Cambiar el rango de estudio de las sales en el agua
  - Cambio de un componente de la receta, manteniendo el resto de parámetros

También quiero plantear una mejora que creo que podría ser implementada a la planta productiva en un futuro cercano. Se trata de empezar a desarrollar un sistema de automatización del proceso.

Durante el desarrollo del presente proyecto se logró desarrollar el software necesario para automatizar el proceso de control de temperatura de maceración, pero no ha sido posible llevarlo a cabo por limitaciones técnicas.

Aun así, se han sentado las bases para un posterior automatizado de mayor grado, pudiendo incluir electroválvulas para transporte de líquido de un tanque a otro.



## Presupuesto y análisis económico

En este apartado se detalla el coste del presente proyecto.

### Coste del equipo de producción experimental

En la Tabla P.1 se muestra el coste del equipo experimental empleado en el proyecto. Se incluye también el coste de la planta piloto presente en la asociación.

Elemento	Proveedor	Precio unitario (€/u)	Unidades (u)	Url	Precio (€)
Grifo para Damajuana	La tienda del cervecero	2,45	4	<a href="https://tinyurl.com/y9m8mgmo">tinyurl.com/y9m8mgmo</a>	9,80
Junta de goma	La tienda del cervecero	0,22	4	<a href="https://tinyurl.com/y3jp4tej">tinyurl.com/y3jp4tej</a>	0,88
Airlock de burbujas con tapa roja	La tienda del cervecero	1,40	4	<a href="https://tinyurl.com/y4p2hmdu">tinyurl.com/y4p2hmdu</a>	5,60
Cubo	Bricomart	1,22	4	<a href="https://tinyurl.com/y9o973do">tinyurl.com/y9o973do</a>	4,88
<b>Total</b>					<b>21,14</b>

Tabla P.1 Presupuesto del equipo de producción experimental

### Coste de la materia prima

En la Tabla P.2 se muestra desglosado el coste de la materia prima empleada en el desarrollo del proceso.

Elemento	Proveedor	Precio unitario	Unidades	Url	Precio (€)
Malta Pale Ale	Family Beer	2,90 €/kg	5,40 kg	<a href="https://tinyurl.com/ybgas63h">tinyurl.com/ybgas63h</a>	15,66
Malta Pale Ale	El secreto de la cerveza	1,80 €/kg	7,70 kg	<a href="https://tinyurl.com/y67bnl85">tinyurl.com/y67bnl85</a>	13,86
Malta cristal T50	Family Beer	3,30 €/kg	1,70 kg	<a href="https://tinyurl.com/ybdkathn">tinyurl.com/ybdkathn</a>	5,61
Malta Maris Otter	Family Beer	3,50 €/kg	2,40 kg	<a href="https://tinyurl.com/y4mwyu4k">tinyurl.com/y4mwyu4k</a>	8,40
Malta Munich	Family Beer	2,60 €/kg	0,75 kg	<a href="https://tinyurl.com/yxg4ny4y">tinyurl.com/yxg4ny4y</a>	1,95
Malta Munich	El secreto de la cerveza	1,95 €/kg	0,80 kg	<a href="https://tinyurl.com/y35vmxwk">tinyurl.com/y35vmxwk</a>	1,56

Lúpulo Challenger	Family Beer	6,50 €/100 g	50 g	<a href="https://tinyurl.com/y8s68fj7">tinyurl.com/y8s68fj7</a>	3,25
Lúpulo Target	Family Beer	6,00 €/100 g	50 g	<a href="https://tinyurl.com/y37ufejp">tinyurl.com/y37ufejp</a>	3,00
Lúpulo Amarillo	Family Beer	8,50 €/100 g	100 g	<a href="https://tinyurl.com/y26rlyj5">tinyurl.com/y26rlyj5</a>	8,50
Lúpulo Perle	El secreto de la cerveza	3,50 €/100 g	20	<a href="https://tinyurl.com/y423mwpp">tinyurl.com/y423mwpp</a>	0,70
Agua	Mercadona	0,21 €/L	60	-	12,60
<b>Total</b>					<b>75,09</b>

Tabla P.2 Presupuesto de la materia prima empleada en el proyecto

## Coste de personal

Descripción	Precio horario (€/h)	Horas (h)	Coste (€)
Investigación bibliográfica	15	50	750
Desarrollo producciones	15	90	1350
Análisis experimental	15	20	300
Cata	15	5	75
Redacción de memoria	15	150	2250
<b>Total</b>			<b>4.725,00</b>

Tabla P.3 Presupuesto del personal que ha trabajado en el proyecto

## Resumen de costes

En total, el coste del presente proyecto se recoge en la tabla P.4:

Descripción	Coste (€)
Coste de equipo	21,14
Coste de la materia prima	75,09
Coste de personal	4.725,00
<b>Total</b>	<b>4,801,23</b>

## Bibliografia

- [1] *Kirin Beer University Report Global Beer Consumption by Country (informes de 2008 a 2017)*. [en línea]. Kirin Company, Limited: Diciembre 2018 [Consulta marzo 2019]. Disponible en: <https://www.kirinholdings.co.jp/englishz>
- [2] *Informe Especial Basic de DBK. Cervezas Artesanas* [en línea]. Tercera versión. Madrid, Abril 2018. [Consulta febrero 2019]. Disponible en: <https://www.dbk.es>
- [3] Palmer, J., 2006. *How to brew*. Cuarta edición. Colorado: Brewers publications, 2017. ISBN 978-1-938469-35-0, capítulo 8, p. 129 – 137
- [4] Cervezas Ambar. *Los cereales no solo se toman con leche*. [En línea] Cervezas Ambar. [Consulta marzo 2019]. Disponible en: <https://ambar.com/>
- [5] Palmer, J., 2006. *How to brew*. Cuarta edición. Colorado: Brewers publications, 2017. ISBN 978-1-938469-35-0, capítulo 15, p. 221 – 223
- [6] Mosher, R., 2015. *Mastering Homebrew. The complete guide to brewing delicious beer*. Primera edición. San Francisco: Chronicle Books LLC, 2015. ISBN 978-1-4521-0551-2, capítulo 3, p. 46 – 73
- [7] Palmer, J., 2006. *How to brew*. Cuarta edición. Colorado: Brewers publications, 2017. ISBN 978-1-938469-35-0, capítulo 16, p. 240 – 256
- [8] Mosher, R., 2015. *Mastering Homebrew. The complete guide to brewing delicious beer*. Primera edición. San Francisco: Chronicle Books LLC, 2015. ISBN 978-1-4521-0551-2, capítulo 3, p. 78 – 95
- [9] *Application Note. SPECORD 200 PLUS. Using SPECORD PLUS for UV/Vis Analysis of Beer: Color*. [en línea]. Analytik Jena: Jena, abril 2018. [consulta marzo 2019]. Disponible en: [www.analytik-jena.com](http://www.analytik-jena.com)
- [10] Hall, M. *Beer by the numbers – Add up what's in your beer*. [en línea] Zymurgy: 1995 [consulta abril 2019]. Disponible en [www.homebrewersassociation.org](http://www.homebrewersassociation.org)
- [11] Cortés, D. Análisis comparativo de cervezas artesanales extremeñas. Trabajo de final de grado, Universidad de Extremadura, 2017, p. 33

- [12] Suarez, D. Cerveza: componentes y propiedades. Trabajo final de máster, Universidad de Oviedo, 2013, p. 41
- [13] *Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta.* [en línea]. Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales: diciembre 2016. [consulta diciembre 2018]. Disponible en: [www.boe.es](http://www.boe.es), p. 88
- [14] Guevara, M et. al. *Manual de procedimientos y técnicas de laboratorio para la identificación de los principales hongos oportunistas causantes de micosis humanas.* [en línea]. Ministerio de salud: Lima, 2007. [consulta febrer0 2019]. Disponible en [www.ins.gob.pe](http://www.ins.gob.pe), p. 88
- [15] López-Jácome, L et. al., *Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología.* [en línea]. Investigación en discapacidad: 2014. [consultado en marzo 2019]. Disponible en <http://metabase.uaem.mx>

## Anexo I. Recetas empleadas

Las Tablas A.1 a A.4 recogen las cantidades de materia prima empleadas para cada producción.

<b>Malta</b>	<b>Peso (g)</b>	
Malta Pale Ale	800	
Malta Crystal T50	80	
<b>Lúpulo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Challenger	10,0	60'
Challenger	10,0	15'
Challenger	10,0	0'
<b>Agua</b>	<b>Volumen macerado (L)</b>	<b>Volumen lavado (L)</b>
Bronchales	3,0	3,0
<b>Levadura</b>	<b>Peso (g)</b>	
Saf Ale S-04	3,5	

Tabla A.1 Receta empleada para las producciones del experimento 1

<b>Malta</b>	<b>Peso (g)</b>	
Malta Pale Ale	750	
Malta Crystal T50	250	
<b>Lúpulo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Challenger	12,5	Parámetro variable
<b>Agua</b>	<b>Volumen macerado (L)</b>	<b>Volumen lavado (L)</b>
Bronchales	3,0	3,0
<b>Levadura</b>	<b>Peso (g)</b>	
Saf Ale S-04	3,5	

Tabla A.2 Receta empleada para las producciones del experimento 2

<b>Malta</b>	<b>Peso (g)</b>	
Malta Maris Otter	800	
Malta Munich	250	
<b>Lúpulo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Amarillo	10,0	60'
Amarillo	10,0	15'
<b>Agua</b>	<b>Volumen macerado (L)</b>	<b>Volumen lavado (L)</b>
Bronchales	3,0	3,0
<b>Levadura</b>	<b>Peso (g)</b>	
Saf Ale S-04	3,5	

Tabla A.3 Receta empleada para las producciones del experimento 3

<b>Malta</b>	<b>Peso (g)</b>	
Malta Pale Ale	3870	
Malta Munich	405	
Crystal T50	225	
<b>Lúpulo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Target	15,0	60'
Target	10,0	15'
Perle	10,0	0'
<b>Agua</b>	<b>Volumen macerado (L)</b>	<b>Volumen lavado (L)</b>
De red tratada	15,3	8,2
<b>Levadura</b>	<b>Peso (g)</b>	
Saf Ale S-04	11,5	

A.4 Receta empleada para las producciones del experimento 3